

**CONTRATO DE CONSULTORÍA Y ASISTENCIA
PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE CARGA
PARA LA RECEPCIÓN DE PUENTES DE LA
LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD
MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA.
TRAMO: MADRID - LLEIDA.
BASE DE MADRID - SUR.**



INFORME DE PRUEBA DE CARGA

**SUBTRAMO I
03VI02**

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1.	Introducción	4
1.2.	Antecedentes	4
2.	OBJETO DEL DOCUMENTO	5
3.	DESCRIPCIÓN DE LA OBRA	7
4.	INSPECCIÓN PRELIMINAR	10
5.	ANÁLISIS DEL PROYECTO DE LA ESTRUCTURA	13
5.1.	Definición completa de elementos	15
5.2.	Acciones consideradas	15
5.3.	Modelización empleada	15
5.4.	Materiales y coeficientes de cálculo	16
5.5.	Evaluación de la solución estructural	17
6.	PLAN DE PRUEBAS	18
6.1.	Acciones reproducidas	19
6.2.	Puntos de medida	21
6.3.	Equipos utilizados	23
6.4.	Resultados previstos	37
7.	PRUEBA DE CARGA	42
7.1.	Descripción	43
7.2.	Resultados obtenidos	46
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
8.1.	Prueba estática	57
8.2.	Pruebas dinámicas	61
9.	CONCLUSIONES	65
10.	ANEJOS	
10.1.	Anejo nº 1: Documentación facilitada por el GIF	
10.2.	Anejo nº 2: Proyecto de prueba de carga	

- 10.3. Anejo nº 3: Esquema de instrumentación y tren de cargas
- 10.4. Anejo nº 4: Registro de medidas
- 10.5. Anejo nº 5: Reportaje fotográfico
- 10.6. Anejo nº 6: Acta de la prueba de carga
- 10.7. Anejo nº 7: Ficha de seguimiento
- 10.8. Anejo nº 8: Planimetría y nivelación de la estructura

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la “*IAP: Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril*”, de 1975, se ha realizado la correspondiente prueba de carga estática y dinámica de la **Estructura 03VI02** de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur. De esta forma se verifica si los parámetros de comportamiento son correctos y ajustados a los previstos según el modelo teórico de cálculo empleado en el Proyecto de la estructura.

1.2. ANTECEDENTES

La elaboración del presente documento se inscribe dentro del marco del contrato de “Consultoría y Asistencia Técnica para la Realización de Pruebas de Carga para la recepción de puentes de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – Frontera Francesa. Tramo Madrid – Lleida. Base de Madrid Sur” (Exp: AV 019/00, Clave: 2/CPr/M-L/M) suscrito el 30 de Mayo de 2001 por Ingeniería de Instrumentación y Control, S.A. (IIC) con el Ente Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF).

Con anterioridad a la realización de los ensayos de prueba de carga IIC ha llevado a cabo las siguientes actividades:

- ❑ Inspección visual de la estructura, habiendo quedado la información referente a esta inspección y a las inspecciones previa y posterior al ensayo en la correspondiente Ficha de Seguimiento.
- ❑ Redacción del “Proyecto de Prueba de Carga. Estructura 03VI02. L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur” (Ref: PPC.0702.03VI02.MS.GIF, Julio de 2002)

2. OBJETO DEL DOCUMENTO

2. OBJETO DEL DOCUMENTO

En el presente informe se recogen todos los trabajos efectuados para la inspección y prueba de carga que, por indicación del GIF, fueron realizados en la Estructura 03VI02 de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur, por IIC.

La inspección preliminar se realizó el día 11 de Abril de 2002. Con anterioridad a la Prueba de Carga, que se llevó a cabo el día 29 de Julio de 2002, y con posterioridad a ésta, se realizaron las correspondientes inspecciones para verificar el estado de la estructura.

Las observaciones efectuadas en la inspección visual previa se incluyen en el apartado 4 y en la Ficha de Seguimiento, que se adjunta en el apartado de Anejos, se presentan las conclusiones referentes a todas las inspecciones efectuadas. En los apartados 6, 7 y 8 se describen los trabajos ejecutados para la realización del ensayo, y se analizan, desde el punto de vista técnico, los resultados de las mediciones recogidas.

Por último, se incluye un apartado de conclusiones, donde se define el estado de la obra con respecto a su comportamiento estructural para su entrada en servicio.

Toda la información complementaria, como el Proyecto de Prueba de Carga (Ref: PPC.0702.03VI02.MS.GIF, Julio de 2002), realizado por IIC con anterioridad a la realización de la misma, los archivos gráficos de registros obtenidos durante el ensayo, el reportaje fotográfico, etc, se presenta en los anejos correspondientes.

3. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

3. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

La localización geográfica de la estructura 03VI02, situada en el P.K 19+094 de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur, puede apreciarse en el Croquis de Situación que se adjunta al final de este apartado.

A continuación se describen las principales características de la estructura, de acuerdo con la documentación facilitada a IIC y con la Inspección Previa realizada el día 11 de Abril de 2002.

La estructura 03VI02 define el paso de la citada línea de ferrocarril sobre la línea de metro Madrid - Arganda. Dicha estructura es una solución de 3 vanos isostáticos, con luces de cálculo de 14,16 m y longitudes de viga de 14,90 m. La planta presenta un esviaje de 67,78° respecto al eje longitudinal de la estructura.

El tablero de la estructura está formado por dos vigas artesa, tipo 90AE-350, de hormigón pretensado (HP-55). El canto de las vigas es de 0,90 m y la separación entre los ejes de las mismas de 6,30 m. Sobre las vigas se dispone una losa de hormigón armado (HA-35), de 0,30 m de espesor medio y 14,00 m de ancho total.

Las pilas se resuelven mediante doble fuste de sección circular de 1,50 m de diámetro, ensanchándose en su cabeza hasta un diámetro de 1,80 m. La altura de las mismas es de 7,80 m. Las pilas están ejecutadas en hormigón armado ($f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$).

La cimentación de cada pila se resuelve mediante un pilote de 1,80 m de diámetro y longitudes de 13,25 m para la pila P-1 y de 10,25 m para la pila P-2. Los pilotes están ejecutados en hormigón armado ($f_{ck}=25 \text{ N/mm}^2$).

Sobre las pilas se disponen aparatos de neopreno rectangulares de distinta tipología (fijos, unidireccionales y bidireccionales) y de 300 toneladas de capacidad.

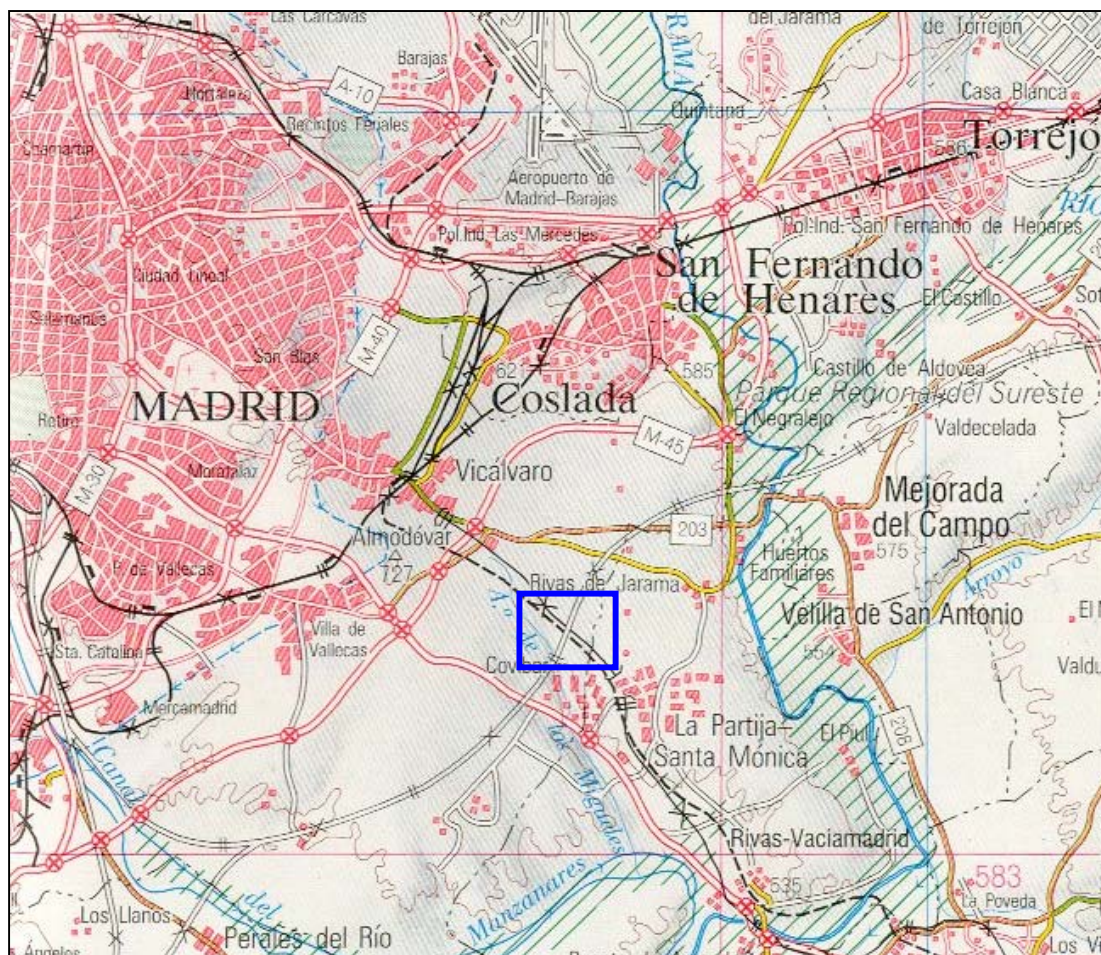
La estructura está preparada para el paso de una doble vía de Alta Velocidad (ancho Internacional 1,435 m), con separación entre ejes de 4,50 m.

Estructura	Tipo de Estructura	Nº de vanos	Luz (m)	Longitud (m)	Tipo de Cimentación
03VI02	Puente	3	3*15	45	Pilotes

ESTRUCTURA 03VI02.

**L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa,
Tramo Madrid – Zaragoza. Base de Madrid Sur**

CROQUIS DE SITUACIÓN



4. INSPECCIÓN PRELIMINAR

4. INSPECCIÓN PRELIMINAR

Prevía a la realización del Proyecto de Prueba de Carga, se llevó a cabo una inspección preliminar de la estructura 03VI02, de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base Madrid Sur el día 11 de Abril de 2002.

En la fecha de la inspección se encontraban ejecutadas la obra de fábrica y la superestructura en su totalidad (ver. Anejo nº 2: Proyecto de prueba de carga. Fotografías nº 3 y 4).

Se midieron las dimensiones principales de la estructura (ancho de la losa, longitud de vanos, altura máxima de pilas, gálibo inferior, etc), comprobando que las magnitudes eran coincidentes con las indicadas en los Planos del Proyecto de la misma. Así mismo, se ha confirmado que estos valores geométricos eran los empleados en la definición del modelo de cálculo, de tal forma que no existen anomalías que afecten a la capacidad resistente desde el punto de vista dimensional.

Durante la inspección visual se examinaron en detalle los paramentos de estribos, aletas, pilas, elementos de apoyo y vigas artesa de la estructura, tomándose nota de todos aquellos desperfectos que pudieran tener alguna relevancia desde el punto de vista estructural, de durabilidad, funcional o estética.

En general, señalamos que no se han detectado defectos o patologías que afecten a los niveles de seguridad de capacidad resistente de la obra.

Realizada la inspección en estribos, se apreciaron algunas fisuras verticales en paramentos, nidos de grava, humedades y eflorescencias, así como algún golpe, que no presentan importancia desde el punto de vista estructural, aunque sí es conveniente señalarlos desde el punto de vista de la estética y la durabilidad a largo plazo respectivamente. Estos puntos singulares pueden ser zonas potenciales de actuación de agentes climáticos, químicos, etc, donde se generen patologías que conduzcan a lo largo del tiempo hacia defectos más profundos como desprendimientos de recubrimientos, afloramientos de armaduras, etc.

En las pilas se observó la presencia de algún desconchón, eflorescencias y humedades, que no consideramos relevantes desde el punto de vista estructural, aunque si es conveniente señalar desde el punto de vista de la durabilidad de la obra de fábrica.

En las vigas artesa se localizaron eflorescencias y manchas de humedad en la zona de los mechinales, que solo tienen consideración desde el punto de vista de la durabilidad y la estética.

Tras la ejecución de los ensayos de prueba de carga se repitió la inspección desde el punto de vista estructural, comprobando que no se manifiesta ningún tipo de patología, por el nivel de sollicitación alcanzado, o evolución en los deterioros ya catalogados en la inspección previa.

En el Anejo nº 7 se incluye la **Ficha de seguimiento** en la que se recoge toda la información referente a la inspección previa, complementada con la inspección efectuada después de la realización del ensayo de prueba de carga.

5. ANÁLISIS DEL PROYECTO DE LA ESTRUCTURA
--

5. ANÁLISIS DEL PROYECTO DE LA ESTRUCTURA

Para la elaboración del Proyecto de Prueba de Carga de la estructura 03VI02, de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur, se emplearon los siguientes documentos, facilitados por INECO:

- ❑ **Anejo de Cálculo del Proyecto** (Anejo nº 11, estructura E-4 del Proyecto Modificado nº 3. L.A.V. Madrid-Barcelona-Frontera Francesa. Tramo Madrid-Zaragoza. Subtramo: II-Plataforma), formado por:
 - Objeto. Planta, alzado y sección transversal de la estructura.
 - Antecedentes.
 - Criterios de Cálculo.
 - Cargas consideradas.
 - Materiales.
 - Cálculo de la pila-pilote.
 - Cálculo de los estribos.
 - Cálculo del tablero.

- ❑ **Planos de la estructura** (Febrero 2002):
 - Plano General (Plano 2.9.3; hoja 1 de 19)
 - Estribo 1 definición geométrica y armaduras (Plano 2.9.3; hojas 2 y 3 de 19)
 - Estribo 2 definición geométrica y armaduras (Plano 2.9.3; hojas 4 y 5 de 19)
 - Pilas definición geométrica y armaduras (Plano 2.9.3; hoja 6 de 19)
 - Replanteo (Plano 2.9.3; hoja 7 de 19)
 - Armado de losa (Plano 2.9.3; hoja 8 de 19)
 - Tablero. Definición geométrica de vigas (Plano 2.9.3; hojas 9 a 17 de 19)
 - Tablero. Planta de replanteo de placas (Plano 2.9.3; hoja 18 de 19)
 - Detalles (Plano 2.9.3; hoja 19 de 19)

Del estudio y análisis de los anteriores documentos, se desprenden las conclusiones que se incluyen en los siguientes subapartados.

5.1. DEFINICIÓN COMPLETA DE ELEMENTOS

La información recibida del proyecto constructivo (Anejo de cálculo y planos) de los elementos que constituyen la estructura, es completa y suficiente, incluyendo los datos (geometría, características de los materiales, niveles de control, etc.) necesarios para la verificación del modelo de cálculo adoptado, acciones aplicadas y solicitaciones o resultados obtenidos, quedando validado a través de su contraste con la discretización empleada para el cálculo de la previsión de resultados del ensayo.

5.2. ACCIONES CONSIDERADAS

El proceso de cálculo empleado se considera correcto en cuanto a la definición de acciones actuantes sobre el tablero de la estructura. Se aplican en distintas combinaciones de acciones:

- ☐ Peso propio (viga y losa) + cargas muertas (balasto, vías y traviesas, pendienteado, murete guardabalasto, impostas, barandillas y canaletas)
- ☐ Sobrecarga de uso:
 - Sobrecarga sobre los paseos de servicio.
 - Tren de cargas: tren tipo B según se define en el apartado 4.2.1.1 de la "Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril" de 1.975.

5.3. MODELIZACIÓN EMPLEADA

La modelización del tablero de la estructura se considera correcta. Se han calculado los esfuerzos del tablero, discretizado mediante elementos barra a partir de las dimensiones geométricas del mismo y sometido a las acciones de su peso propio, de las cargas muertas y de las sobrecargas de uso. A partir de estos esfuerzos el programa utilizado dimensiona las armaduras de las secciones a flexocompresión simple y comprueba la resistencia a cortante de las mismas.

5.4. MATERIALES Y COEFICIENTES DE CÁLCULO

Las Normas y/o Recomendaciones aplicadas para el cálculo son las siguientes:

□ **Acciones:**

- “Instrucción Relativa a las Acciones a Considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril”, Orden Ministerial del 25 de Junio de 1975.
- “Eurocode 1. Basis of Design and Actions on Structures. Part 3.4 Rail Traffic Actions” CEN/TC250/SC1/93/N110 (abril de 1993).

□ **Materiales:**

- Hormigón armado:
 - ✓ EH-91 “Instrucción para el proyecto y obras de ejecución de obras de hormigón en masa o armado”.
- Hormigón pretensado:
 - ✓ EP-93 “Instrucción para el proyecto y obras de ejecución de obras de hormigón pretensado”.

El Control de Calidad especificado en la documentación de la estructura indica los siguientes coeficientes de seguridad:

➤ **Materiales:**

- ✓ Hormigón tablero: 1,50
- ✓ Acero de armado del tablero: 1,15
- ✓ Acero pretensado: 1,10

➤ **Acciones:**

- ✓ **Peso propio:**
 - Efecto desfavorable 1,60
 - Efecto favorable 0,90
- ✓ **Acción de las tierras (Peso y empuje):**
 - Efecto desfavorable 1,60
 - Efecto favorable 0,90

✓ Sobrecargas:

- Efecto desfavorable 1,60
- Efecto favorable 0,00

5.5. EVALUACIÓN DE LA SOLUCIÓN ESTRUCTURAL

La obtención de resultados a partir de la aplicación de acciones sobre la estructura discretizada se considera correcta.

IIC, S.A. desarrolló, para la elaboración del Proyecto de Prueba de Carga, un modelo utilizando el programa SAP90 (CSI, Inc., Berkeley). Es un programa de estructuras, basado en el método de los elementos finitos, desarrollado en FORTRAN. Todas las operaciones numéricas son desarrolladas con la precisión de 64 bits y permite llevar a cabo un análisis de comportamiento no solo estático, sino también dinámico.

En el Proyecto de Prueba de Carga se discretizó la estructura mediante elementos barra unidimensionales (emparrillado plano) y se obtuvo el momento flector de cálculo en la sección central de la estructura, como comprobación y verificación sencilla de la validez de las solicitaciones de partida para el dimensionamiento estructural adoptado en el Proyecto de construcción.

6. PLAN DE PRUEBAS

6. PLAN DE PRUEBAS

En una primera fase, personal técnico de IIC se encargó de la elaboración del “Proyecto de Prueba de Carga. Estructura 03VI02, de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur” (Ref: PPC.0702.03VI02.MS.GIF, Julio de 2002; ver Anejo nº 2), en el que se calculan los valores de desplazamiento (flechas), deformaciones unitarias (tensiones) y vibraciones (frecuencias propias) previstos, una vez determinados los estados de carga y los puntos de medida definitivos.

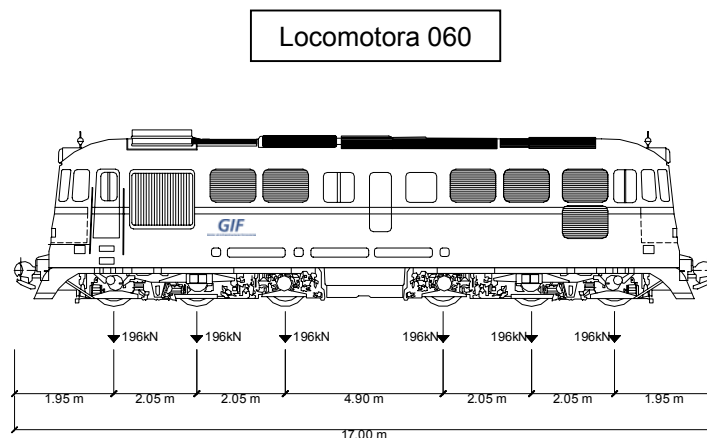
Para la realización de este Proyecto de Prueba de Carga se empleó un programa basado en el método de elementos finitos, discretizando la estructura mediante un modelo bidimensional compuesto por elementos barra unidimensionales.

6.1. ACCIONES REPRODUCIDAS

De acuerdo con el Proyecto de prueba de carga, se han realizado pruebas estáticas y pruebas dinámicas a diferentes velocidades.

Las sobrecargas utilizadas para materializar los estados de carga eran las siguientes:

- ❑ Locomotora serie 060, definida por dos bogies de tres ejes cada uno, con un peso total de 1180 kN



En el Anejo nº 3 se incluye la ficha técnica de la locomotora utilizada durante la realización de las pruebas.

Para la realización de las pruebas estáticas se emplearon dos locomotoras 060, una por vía. La distribución de cargas en esta prueba se corresponde con la Hipótesis I contemplada en el Proyecto de prueba de carga (aplicación de máximo momento flector positivo en la sección central de la estructura).

Las pruebas dinámicas se efectuaron con una locomotora pasando sobre una de la vía II de la estructura, con pasos a distintas velocidades e incluyendo un ensayo dinámico con frenado.

Durante la realización de estas pruebas se adquirieron medidas en todos los puntos instrumentados.

6.2. PUNTOS DE MEDIDA

Durante la prueba de carga se llevó a cabo el control de valores de flecha (desplazamientos verticales), de deformaciones unitarias (tensiones) y de vibraciones (velocidades de movimiento).

Cada punto se identifica según el siguiente código:

$$\alpha\beta\chi$$

donde:

α : Carácter alfanumérico que define el tipo de sensor, pudiendo ser:

G – Galga extensométrica

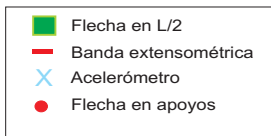
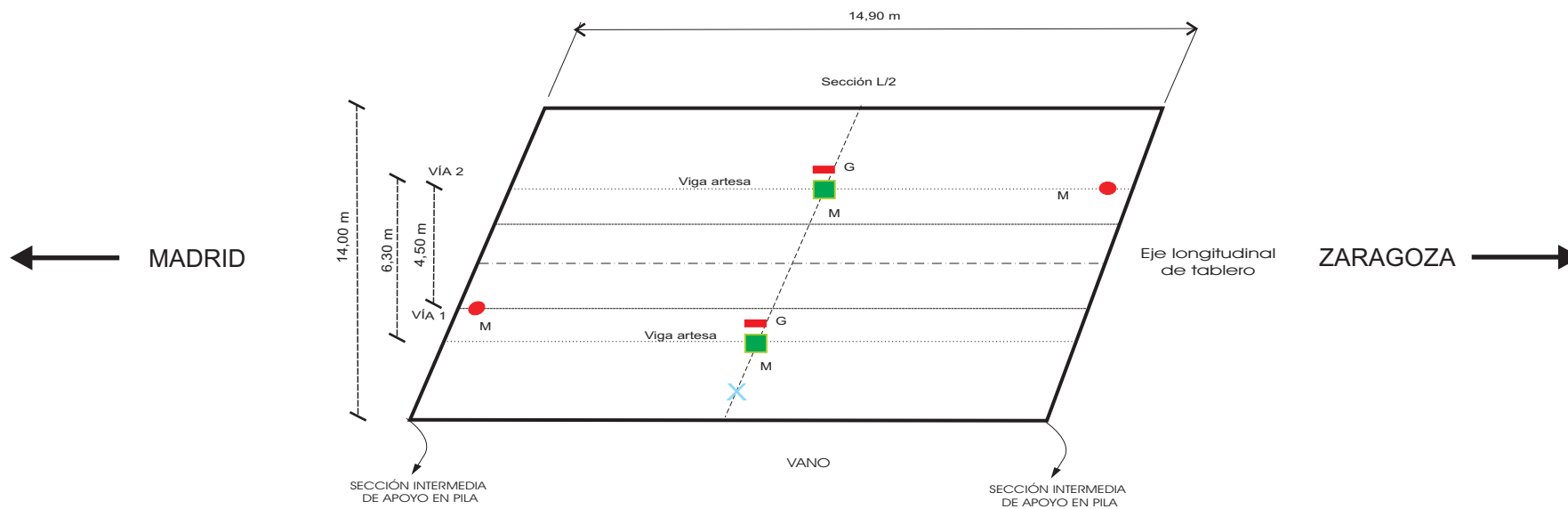
M – Transductor de desplazamiento tipo ménsula

S – Sismómetro

β : Caracteres numéricos que define el número de vano donde se localiza el sensor.

χ : Carácter numérico que define la posición (Apoyo, L/2 ó L/4) donde se sitúa el sensor dentro de un vano dado.

En la página siguiente se incluye un croquis con la localización y nomenclatura de los puntos.



Caracter alfanumérico correlativo al n° de vanos

Número de vano (1 al 3)

En el vano 2 únicamente se instrumentaron dos puntos para la medida de flecha en centro de vano y un acelerómetro en centro de vano.

6.3. EQUIPOS UTILIZADOS

6.3.1. Desplazamientos verticales

Para la obtención de los desplazamientos verticales se hizo el control de flechas en los siguientes puntos:

Vano	Flecha en L/2	Descenso en apoyos
1	2	3
2	2	-
3	2	3

Para la medida de flechas en centro de vano se dispusieron transductores de desplazamiento tipo ménsula, basados en bandas extensométricas de 10 mm de longitud activa. Estos elementos, colocados sobre trípodes situados en el terreno bajo la estructura, fuera del campo de influencia de ésta, se unieron con el punto cuyo desplazamiento se deseaba medir mediante un hilo de acero.

En estos puntos se registraron medidas tanto en el ensayo estático como en los dinámicos.

6.3.2. Deformaciones unitarias

Se llevó a cabo el control de deformaciones unitarias o tensiones en un total de cuatro puntos, dos en cada uno de los centros de vano de los vanos laterales. En el vano central no se efectuó este control para no interferir con la circulación de la línea de metro Madrid – Arganda.

Las deformaciones unitarias se midieron mediante bandas extensométricas de 60 mm de longitud activa, que una vez pegadas sobre la superficie de hormigón de la cara inferior de la losa, previa preparación de la misma, se dejaron convenientemente protegidas.

En estos puntos se realizaron medidas tanto en el ensayo estático como en los dinámicos.

6.3.3. Vibraciones

Con la finalidad de determinar la frecuencia propia de vibración de la estructura se instaló un sismómetro en la sección central de la estructura, para la medida de velocidades de vibración durante las pruebas dinámicas.

6.3.4. Otras medidas

Durante la realización del ensayo, se procedió al registro de la humedad relativa y temperatura ambiente, para cada prueba y estado de carga, al principio y al final de cada estado.

6.3.5. Descripción del sistema de medida

El equipo para la realización del ensayo de prueba de carga permite la adquisición, tratamiento y presentación de hasta 36 sensores independientes de medida.

Los canales de adquisición de datos del equipo pueden utilizarse indistintamente para el control de deformaciones unitarias (tensiones), movimientos (flechas o descensos de aparatos de apoyo), velocidades de movimiento (vibraciones) y/o aceleraciones, ofreciendo una gran flexibilidad desde el punto de vista de los parámetros a medir.

En el equipo, la unidad de adquisición de datos funciona controlada por un procesador y una tarjeta de comunicaciones para la adquisición de los 36 canales de medida.

El equipo se compone de los siguientes elementos:

- ☐ Sensores
- ☐ Acondicionadores de señal
- ☐ Tarjeta de comunicaciones
- ☐ Ordenador
- ☐ Cables y conectores

A continuación se detalla cada uno de los elementos del sistema de medida.

6.3.5.1. Sensores

La medida de **deformaciones unitarias**, y por tanto de las tensiones, se realiza mediante bandas extensométricas de 10 mm, para puentes metálicos, y de 60 mm de longitud activa, para puentes de hormigón, que una vez pegadas, previa preparación de la superficie en que irán situadas, se dejan convenientemente protegidas frente a perturbaciones eléctricas y atmosféricas. La banda tiene 2500 $\mu\epsilon$ de rango y 1 $\mu\epsilon$ de sensibilidad. Los terminales de la galga se conectan adecuadamente a un conector que completa un puente de Wheaston, de tal forma que la medida se realiza a puente completo de 6 hilos.

Para la **medida de flechas**, tanto en sentido vertical como horizontal, se dispone de transductores de desplazamiento de tipo ménsula con varios rangos de medida (70 mm y 10 mm) y sensibilidad de 0,01 mm, basados en bandas extensométricas con 10 mm de longitud activa. El montaje de bandas se realiza a puente completo efectuando siempre todas las lecturas a 6 hilos para evitar errores de medida por derivas térmicas, grandes longitudes de cable, etc. Estos elementos, colocados normalmente sobre trípodes, se unen con el punto cuyo desplazamiento se desea medir mediante un hilo de acero.

La **medida de vibraciones** (velocidades de movimiento), se efectúa con un sismómetro L-4C de la casa MARK, cuyas características se relacionan a continuación:

- Tipo electromagnético
- Frecuencia propia: < 1,0 +0,05 Hz
- Rango de frecuencia con la excitación: < 0,05 Hz desde 0 a 0,09 pul/seg
- Resistencia de la bobina: 500 Ohm
- Aislamiento de la envolvente: 100 MOhm a 500 V.c.c.

Para la **medida de aceleraciones** se cuenta con acelerómetros capacitivos de la casa SEIKA del tipo B2 y ± 10 g de rango con ancho de banda de 0 a 200 Hz.

Se dispone de un **sensor de temperatura ambiente y humedad relativa** modelo WCH24T de la marca LEE-INTEGER LTD, cuyas características son las siguientes:

- Sensor de humedad: DST tipo GLS/RH
- Rango de humedad: 0-100% R.H.
- Sensor de temperatura: tipo PT-100
- Rango de temperatura: -50° C. a +150° C

Éste tiene como finalidad controlar la influencia de los agentes atmosféricos sobre los parámetros medidos.

Los acondicionadores que incluye el equipo pueden recibir, tanto para pruebas dinámicas como para pruebas estáticas, los siguientes tipos de sensores, entre los que se encuentran los descritos anteriormente:

- ☐ Acelerómetros piezocapacitivos
- ☐ Acelerómetros piezoresistivos
- ☐ Potenciómetros a 5 hilos
- ☐ Voltios
- ☐ Puentes de bandas completos en corriente continua y alterna
- ☐ Sensores de temperatura tipo PT-100

6.3.5.2. Acondicionadores de señal

El sistema consiste en un diseño modular que acondiciona diversos tipos de sensores de "alta velocidad" generando una señal eléctrica normalizada de ± 5 V de salida.

El conjunto está formado por tres módulos con una fuente de alimentación integrada, cada uno está formado por un chasis de 19" con capacidad para contener hasta 12 acondicionadores. Cada acondicionador sirve, de forma completamente independiente, para un único sensor permitiendo los ajustes de ganancia, margen de frecuencias y cero de salida. Éstos pueden recibir la señal de los tipos de sensores indicados en el anterior subapartado.

Esta modalidad permite definir equipos que se adapten a las necesidades concretas de cada sistema a controlar, seleccionando los sensores y acondicionadores más adecuados para el mismo. Específicamente, para el caso de las pruebas de carga, en función del tipo de sensores

que se emplean, el principal acondicionador es el de bandas en puente completo a baja frecuencia.

Cada una de las tarjetas acondicionadoras presenta las siguientes **características**:

- ❑ Alimentación al sensor: Genera una tensión de +1V y otra simétrica de -1V para alimentar el puente. Se dispone de 2 hilos para alimentar y otros 2 hilos para confirmar la tensión que le llega al puente y de esta forma compensar las pérdidas por longitud de cable. Se pueden alcanzar distancias de hasta 200 m entre sensores y acondicionadores.
- ❑ Amplificador: Está formado por un amplificador de instrumentación de alta precisión (16 bits) y un amplificador S/H para la compensación automática de la deriva de los componentes de la electrónica. Dependiendo del tipo de prueba a realizar, dinámica o estática, la amplificación se llevará a cabo en corriente continua o alterna de "baja frecuencia" ($< 1 \text{ KHz}$), evitando de esta forma los errores típicos de deriva que se observan en las pruebas de tipo estático, debidos a variaciones térmicas en las electrónicas para corrientes continuas en las que las amplificaciones son muy elevadas.
- ❑ Corrector del cero y de la ganancia: Incorpora un equipo de SAMPLE & HOLD que al indicarle el autocero genera la tensión adecuada para que la salida sea de 0 V. También tiene un ajuste fino de la ganancia para que al introducir un desequilibrio (dependiendo del valor seleccionado) se genere una tensión de salida de 2 V, permitiendo efectuar de forma semiautomática los procesos de calibración de los equipos.
- ❑ Filtros: Son filtros del tipo Bessel de cuarto orden seleccionable. La máxima frecuencia a medir debe ser 3 veces menor que el valor del filtro elegido, para que las distorsiones en las medidas sean mínimas.
- ❑ Etapas de salida: Su única misión es dar suficiente potencia para enviar la señal al equipo de adquisición, así como una protección contra cortocircuitos en la red.

- ❑ Fuente de alimentación: Genera, a partir de la alimentación del bus, las tensiones necesarias para el manejo de la electrónica de las tarjetas, optimizando el consumo.

En el frontal de cada tarjeta acondicionadora se dispone de:

- Selector de filtro (5, 15, 30, 100 y 330 Hz)
- Selector de ganancia (5, 10, 100, 1000, 2500 y 10.000)
- Pulsador ajuste del cero de salida
- Ajuste de ganancia para calibración
- Salida auxiliar para verificación mediante osciloscopio

Una misma tarjeta acondicionadora se puede utilizar indistintamente, bien para la medida de desplazamientos, bien para la medida de deformaciones. De esta forma no se limita a un determinado número de canales la medida de flechas o de tensiones.

6.3.5.3. Tarjeta de comunicaciones

El sistema de adquisición de datos está comandado por un procesador con una tarjeta de adquisición de datos que recoge las lecturas de los 36 canales de medida. El equipo utilizado dispone de una tarjeta de comunicaciones de NATIONAL INSTRUMENTS, que alcanza una velocidad de adquisición de datos de hasta 333.000 muestras/segundo. El resto de las características son las siguientes:

- Sesenta y cuatro canales de entradas analógicas
- Dos puertas de I/O digitales libres para permitir el empleo de sistemas de trigger externos
- Dos canales de transferencia DMA
- Ganancia programable: 0.5, 1, 2, 4, 8, 10, 100, 500
- Convertidor A/D: 12 bits
- Sistema modular fácilmente ampliable

Por otra parte, el hardware especificado puede ser utilizado desde plataformas software convencionales (DOS, WINDOWS) mediante programas de desarrollo tipo SCADA, facilitando la interfase con el usuario.

Teniendo en cuenta que las frecuencias máximas encontradas en estructuras de puente no superan los 20 Hz parece conveniente muestrear a no menos de 5 veces la frecuencia, es decir, 100 Hz por canal; puesto que el número de canales totales es de 36, ello supone una velocidad mínima de muestreo de 3600 Hz, muy por debajo de las posibilidades de las soluciones que se emplean. Es posible la realización de muestreos a velocidades de 32.000 muestras/segundo.

6.3.5.4. Ordenador

Es el elemento que realiza el registro, almacenamiento, tratamiento y la presentación de los datos, así como el control de la adquisición, llevada a cabo por la tarjeta de NATIONAL INSTRUMENTS, instalada en uno de sus slots libres.

El registro se lleva a cabo en el disco duro y la presentación por pantalla.

Las características del ordenador empleado en el sistema de registro son las siguientes:

- Procesador PENTIUM a 133 MHz
- Memoria RAM: 16 MB
- Unidad de disco flexible 3 ½ alta densidad
- CD ROM interno
- 260 Mb en disco duro
- Monitor color, tarjeta gráfica, teclado y ratón
- 5 Slots libres

El sistema cuenta además con una unidad de **sistema de alimentación ininterrumpida (S.A.I.)** para prevención de fallos en el suministro eléctrico, con autonomía para 30 minutos. Su objetivo es permitir el correcto cierre de la aplicación software e impedir la pérdida de información de un ensayo ante un eventual corte de energía.

6.3.5.5. Cables y conectores

Todos los conectores, aéreos o de chasis, que se emplean en el equipo (cableado, acondicionadores y fuente de alimentación) cumplen especificaciones militares, asegurando de esta forma su fiabilidad.

El cableado es de diseño muy versátil. Entre los sensores y los acondicionadores se disponen cables sencillos de 6x0,5 mm² apantallados.

6.3.6. Software de aplicación

A fin de que el sistema realice las funciones de adquisición, registro y presentación de datos, el programa utiliza el entorno LabWindows de National Instruments. Este está especialmente diseñado para el trabajo con sistemas de adquisición de datos y control de sensores de instrumentación.

Se ha programado una aplicación específica dentro de LabWindows para el control y seguimiento de la instrumentación que se instala en los ensayos de prueba de carga.

En éste se ha definido un menú general que comprende:

"Configurar", "Calibrar", "Pruebas", "Gráficos", "Notas" y "Salir"

Dentro de la ventana del menú de **"Configurar"** se puede acceder a:

- **"Asignación de canales"**: En una hoja de 64 líneas se pueden definir con gran flexibilidad y de forma interactiva, la nomenclatura para localización en el croquis del punto que se mide, el canal del sistema al que se conecta, la ganancia software que se aplica (independiente de la ganancia hardware), tipo de sensor en función de la ficha que le define, cable conectado y el valor teórico esperado de medida que se prevé alcanzar.

Tanto las configuraciones generales de puntos, sensores y canales, como la serie de valores teóricos esperados, son cargables desde ficheros que pueden prepararse con antelación en gabinete.

Las asignaciones de cable llevan implícitas los correspondientes factores de corrección de las lecturas por la longitud del mismo.

Teniendo en cuenta que existen 36 canales físicos de medida (acondicionadores de señal) simultáneos y 64 líneas de asignación, se pueden definir varias configuraciones de instrumentación, de forma que los puntos a medir pueden ser activados o desactivados. El objetivo de tal operación es facilitar y acelerar, en la medida de lo posible, los cambios de instrumentación caso de ser necesarios en estructuras con gran número de puntos de medida.

En cualquier caso, el hecho de que se puedan activar los 64 canales de medida simultánea, permite que el equipo sea fácilmente ampliable a ese número de puntos de control.

- ❑ **"Valores esperados"**: para una asignación de canales determinada, en la que se han definido los puntos a controlar en una estructura, se asigna que valores teóricos se pueden medir. Los ficheros de valores esperados se graban, de tal forma que posteriormente son cargables desde las pantallas de la ejecución de la prueba. Aunque esta labor se puede realizar directamente en la pantalla de "Asignación de Canales", su objeto es poder configurar distintos ficheros de valores en función de los diferentes ensayos, estáticos o dinámicos, a realizar. Los ficheros preparados en gabinete, ahorran tiempo de trabajo en campo.
- ❑ **"Factores de cable"**: Para una asignación de canales determinados, a cada punto de control sobre la estructura se le define una longitud de cable conectada hasta el sistema de medida. En este apartado, se asignan factores de corrección por pérdidas eléctricas debido a la longitud de cable.
- ❑ **"Fichas de sensores"**: Son las fichas que definen de forma genérica los diferentes tipos de sensores que se emplearán en la realización de los ensayos de prueba de carga. En cada una de ellas se configuran los rangos de medida del sensor, las unidades ingenieriles de medida, el factor de galga y unas variables de corrección de pendientes lineales.
- ❑ **"Parámetros generales"**: Se definen aquellos parámetros que son comunes a cualquiera de los procesos que se desarrollan en el programa. En concreto, se especifican:

porcentajes admitidos respecto a valores teóricos esperados, porcentajes admitidos para aceptar la estabilidad de incremento de magnitudes medidas, porcentajes admitidos para aceptar la recuperación de flechas o tensiones y valores máximos ó mínimos para definir las escalas gráficas de las representaciones, tanto de las curvas que se generen en tiempo real como las que pertenezcan al archivo histórico.

- ❑ **"Croquis de instrumentación"**: permite cargar un fichero gráfico, de forma que desde las pantallas de ejecución se puedan visualizar esquemáticamente los puntos donde se localizan los sensores, así como su designación.

La tecla **"Calibrar"** permite acceder a las pantallas desde las cuales se efectuará:

- ❑ **"Calibración de canales"**: Permite tomar lecturas de los valores superiores, inferiores e iniciales que es posible registrar, obteniéndose de forma automática la relación entre unidades eléctricas y unidades de ingeniería. El proceso se puede realizar de forma automática o manual, por grupos de sensores o por sensores individuales. Este sistema de calibración permite que los factores de conversión se calculen directamente en campo o que se introduzcan manualmente mediante un fichero preparado al efecto. Cuando los coeficientes se calculan en campo, quedan integradas todas las pérdidas o ganancias del sistema eléctrico por cualquier factor externo ambiental o eléctrico, o interno de tipo electrónico.
- ❑ **"Chequear canales"**: Se visualizan gráficamente las escalas eléctricas de medida de los 64 canales existentes. Su misión es determinar mediante una simulación de muestreo, la existencia de algún ruido o inestabilidad eléctrica en cualquiera de los canales que se emplearán durante la realización de los ensayos.

La tecla **"Pruebas"** permite iniciar el ensayo de prueba de carga. En una primera pantalla general se define el tipo de prueba (estática, dinámica), el nombre del fichero que se graba (código EST para pruebas estáticas o código DIN para pruebas dinámicas, junto con dos cifras numéricas), el subdirectorío donde se almacenarán los datos, algún comentario de texto para describir el ensayo y la velocidad de muestreo.

Con respecto a la velocidad de muestreo, señalamos que las pruebas estáticas se pueden realizar a 1,5 ó 10 muestras/seg y las pruebas dinámicas desde 100 a 32.000 muestras/seg, en función del número de canales activados y la duración prevista de ensayo.

Desde la pantalla general se indicará, igualmente, el nombre del fichero que contiene los datos de valores teóricos esperados a emplear, con la finalidad de que las comparaciones se realicen entre los valores adecuados de sobrecargas y velocidad.

Al pulsar la tecla "Continuar" dentro de la anterior pantalla, se presentarán distintas configuraciones de los paneles dependiendo del tipo de prueba.

En la PANTALLA DE PRUEBAS ESTATICAS se presentarán simultáneamente y en cada instante los siguientes datos de los 64 canales de medida, agrupados en hojas de 32:

- Identificación del punto de medida
- Lectura en unidades de ingeniería
- Porcentaje alcanzado sobre el valor teórico esperado durante la fase de carga, o porcentaje de recuperación en la fase de descarga
- Porcentaje de la pendiente para estabilización de lecturas en la fase de carga o descarga

En caso de que las lecturas adquiridas alcancen los valores de fondo de escala de los sensores correspondientes, la celdilla recogería el valor medido con caracteres en color rojo.

Cuando los porcentajes sobre el valor teórico esperado sean superiores al límite establecido en la configuración de parámetros generales, la celdilla correspondiente presentará el valor del porcentaje sobre fondo de color rojo. Al mismo tiempo, se activaría una alarma de aviso en la esquina superior izquierda de la pantalla, con objeto de que si durante la adquisición se trabaja dentro de cualquier otra pantalla, podamos advertir si la magnitud de cualquier valor medido es superior a lo esperado en la prueba.

De la misma forma, si los porcentajes de estabilización o recuperación son inferiores a los límites establecidos en las pantallas de configuración de parámetros generales, las celdillas presentarían los valores de los mismos sobre fondo de color verde.

En la zona inferior de la pantalla se han definido una serie de teclas:

- ❑ **"Comenzar"**: Inicia la adquisición de datos y el contador de fases de carga.
- ❑ **"Finalizar"**: Detiene la adquisición de datos.
- ❑ **"Fase de carga"**: Al pulsar esta tecla se inicia una fase de carga, incrementando su contador en una unidad. Inicialmente el fondo de la celdilla es amarillo hasta que se cierra la fase, pasando a color verde. La prueba no se puede detener hasta que todas las fases estén cerradas.
- ❑ **"Fase de descarga"**: Al pulsar esta tecla se inicia una fase de descarga, incrementando su contador en una unidad. Con el mismo criterio que para las fases de carga, el fondo de la celdilla será amarillo o verde.
- ❑ **"Notas"**: Permite grabar un comentario corto de 30 caracteres, aproximadamente.
- ❑ **"Flechas" o "Bandas"**: Permite visualizar las gráficas en tiempo real de los valores que se adquieren hasta en 24 canales simultáneamente, seleccionados libremente y modificables a voluntad. En la pantalla gráfica se podrá visualizar la actualización de las curvas, así como los valores numéricos que se están registrando en cada instante.
- ❑ **"Gráficas"**: Permite visualizar gráficamente los valores adquiridos por cada canal al final del ensayo. Esta visualización tiene las características del Gráfico para histórico que se detallará más adelante.
- ❑ **"Grabar"**: Cuando se finaliza la prueba esta puede ser traducida o no en el momento en que se detiene. La traducción no se efectúa por defecto, ya que se pretende ahorrar el máximo tiempo posible en los procedimientos de ejecución, considerando que esta labor debe ser realizada en gabinete. Pero si por alguna circunstancia se requiere la traducción para cargar gráficas en la utilidad de histórico, deberemos pulsar la tecla "Grabar". De esta forma se graban ficheros individualizados por canal adquirido.
- ❑ **"Croquis"**: Permitirá visualizar el esquema gráfico de puntos de medida.

- ❑ **"Imprimir":** Efectuará un volcado de pantalla a impresora.
- ❑ **"Máximo":** Es una tecla que se activa una vez detenida la prueba de carga y presenta los máximos por canal de las lecturas realizadas, cuando el ensayo ha sido traducido.
- ❑ **"Mínimo":** Es una tecla que se activa una vez detenida la prueba de carga y presenta los mínimos por canal de las lecturas realizadas, cuando el ensayo ha sido traducido.

Respecto a la PANTALLA DE PRUEBAS DINAMICAS, inicialmente, se mostrará una pantalla de espera donde existirán, además, unas teclas para "Comenzar" o "Detener" manualmente la adquisición de datos.

Al igual que para las pruebas estáticas, se podrá ver la evolución de los valores registrados, en unidades ingenieriles, durante la realización de la prueba. Además, dado el corto tiempo de duración de estas pruebas, justo en el momento en que finalice la toma de datos del ensayo dinámico, se podrá presentar una pantalla, previa traducción, donde se recogerán, a modo de resumen:

- Identificación de los puntos de medida
- Lecturas máximas medidas en unidades de ingeniería
- Porcentajes alcanzados sobre valores teóricos esperados
- Porcentajes de recuperación alcanzados

Los criterios de colores de caracteres y de fondo de las celdillas son idénticos a los establecidos en los ensayos estáticos.

De la misma forma, en la zona inferior de la pantalla se han definido una serie de teclas similares a las recogidas en el panel de ensayos estáticos. A diferencia del anterior, se han suprimido, lógicamente, los pulsadores de fase de carga y descarga, añadiendo una tecla de "Espectro" de frecuencias. Esta última permitirá obtener la frecuencia propia de vibración de la estructura mediante el análisis de las "colas" de las flechas medidas, o del registro del sismómetro o de los acelerómetros.

Por tanto, incluso después de que se detenga cada ensayo dinámico, el programa permitirá visualizar los gráficos de las lecturas adquiridas en cada canal, así como las frecuencias propias de

vibración de la estructura. Las funciones de "Notas", "Imprimir", "Mínimos", etc. se mantienen sin modificaciones.

Volviendo al menú general, la tecla de **"Gráficos"**, al igual que en cualquier otro programa similar en que se gestionan ficheros de históricos, permitirá visualizar los valores de las pruebas efectuadas. Es conveniente indicar que por prueba efectuada se ha de entender prueba traducida y grabada en el disco duro del ordenador; es decir, existirá la posibilidad de visualizar los valores y gráficos de pruebas realizadas con anterioridad en estructuras distintas, pudiendo establecer criterios comparativos, etc.

Para la visualización de los gráficos se han incorporado dos herramientas de gran utilidad para efectuar los análisis de resultados; por un lado, podemos visualizar ampliadas regiones de las curvas (zoom), y por otro lado, conocer los valores coordenados de un punto concreto mediante una función de "raster".

Por último, se ha incluido una ventana de **"Notas"** a través de la cual se accede a los comentarios de texto grabados durante la realización de los ensayos, siendo posible introducir algún otro sin necesidad de que estemos en la modalidad de ejecución.

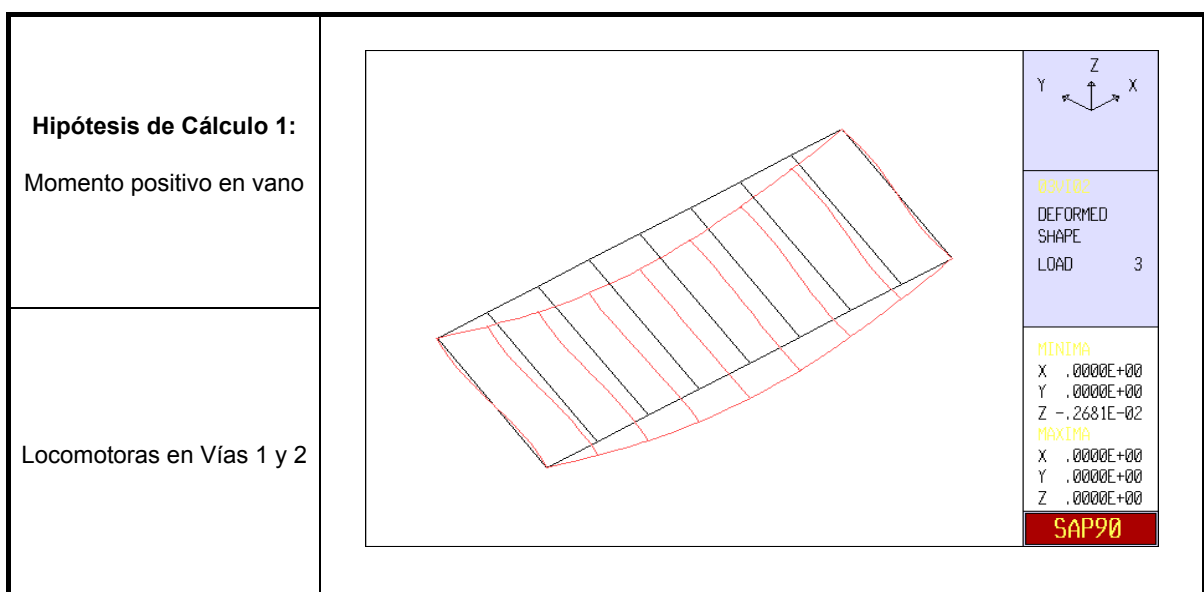
6.4. RESULTADOS PREVISTOS

Los resultados previstos en los ensayos estáticos y dinámicos se han extraído de los cálculos realizados en el "Proyecto de Prueba de Carga Estructura 03VI02, de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur" (Ref: PPC.0702.03VI02.MS.GIF, Julio de 2002).

6.4.1. Flechas y deformaciones bajo carga estática.

Los valores de flechas y deformaciones unitarias esperados, para la hipótesis de carga recogida en el Proyecto de Prueba de Carga, son los presentados en la siguiente tabla (valores negativos de flecha indican descenso y valores positivos de deformación unitaria indican tracción):

Ensayo estático nº 1 – Momento flector positivo en sección central del vano (Hipótesis de cálculo I)		
Punto de medida	Flecha (mm)	Deformación unitaria ($\mu\epsilon$)
$M\alpha 1$	-2,68	-
$M\alpha 2$	-2,68	-
$G\alpha 1$	-	96
$G\alpha 2$	-	96



6.4.2. Esfuerzos máximos de sollicitación

Del cálculo del tablero sometido al estado de carga estática definido para la prueba, se obtiene que las zonas más solicitadas a momento flector positivo son las de la sección central. Considerando solamente los **momentos** producidos por las **sobrecargas de uso**, se obtiene:

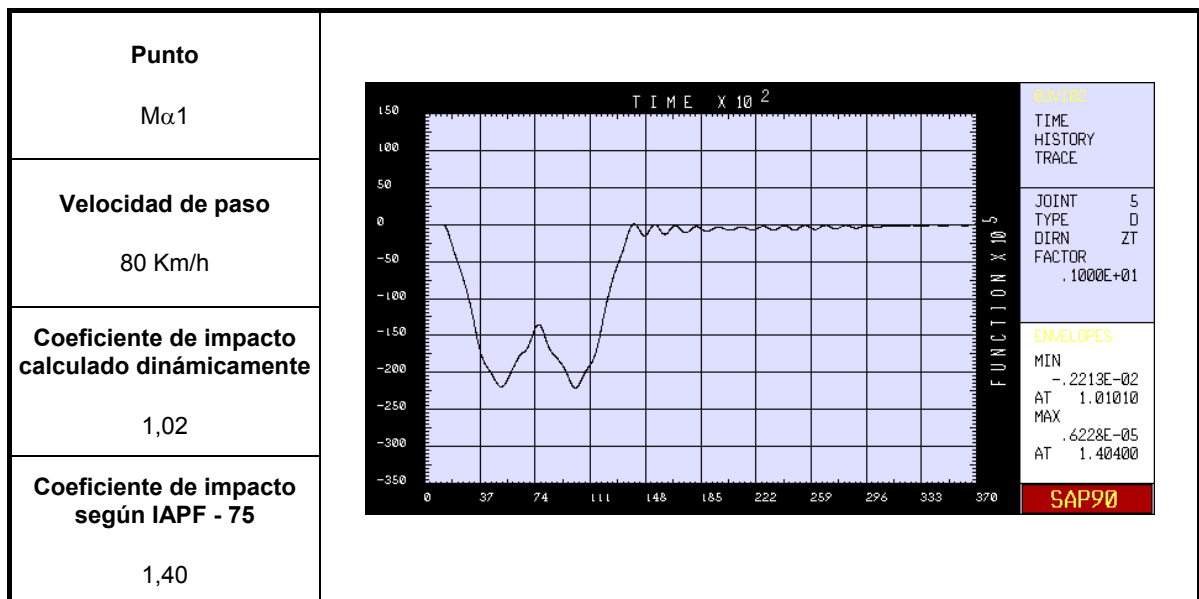
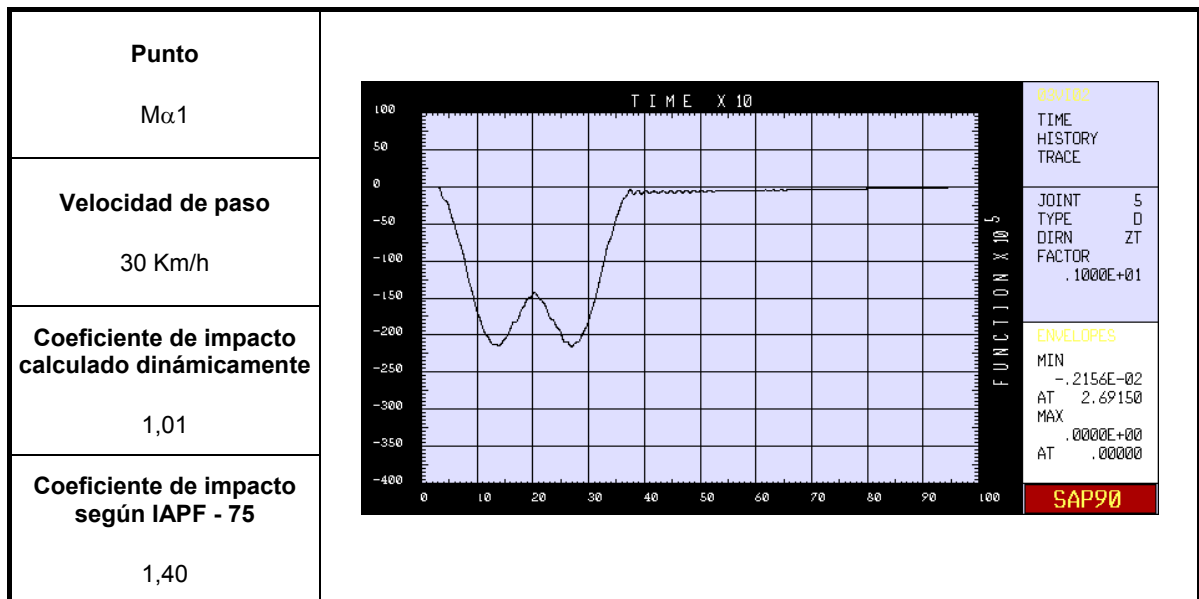
	Momento de sobrecarga en Proyecto (kN m)	Momento de sobrecarga en Prueba (kN m)	% alcanzado en prueba
Sección centro de vano	4.618	1.472	31,9

Si se consideran, además, los momentos flectores producidos por las cargas permanentes, se obtendrán:

	Mom. CP en Proyecto (kN m)	Mom. SC en Proyecto (kN m)	Mom. Total en Proyecto (kN m)	Mom. SC en Prueba (kN m)	Mom. Total en prueba (kN m)	% alcanzado en prueba
Sección centro de vano	3.777	4.618	8.395	1.472	5.249	62,5

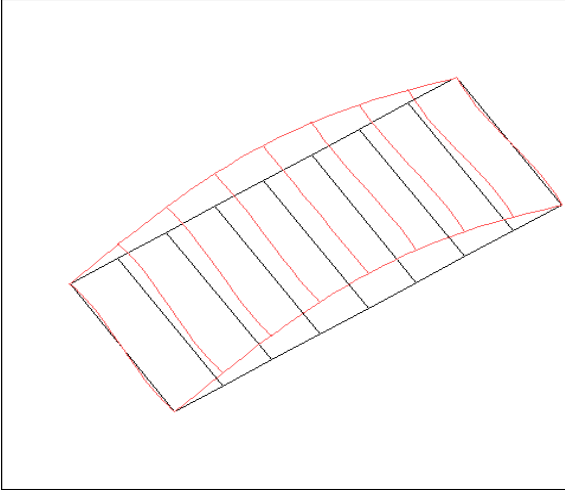
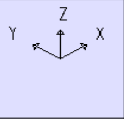
6.4.3. Coefficientes de impacto

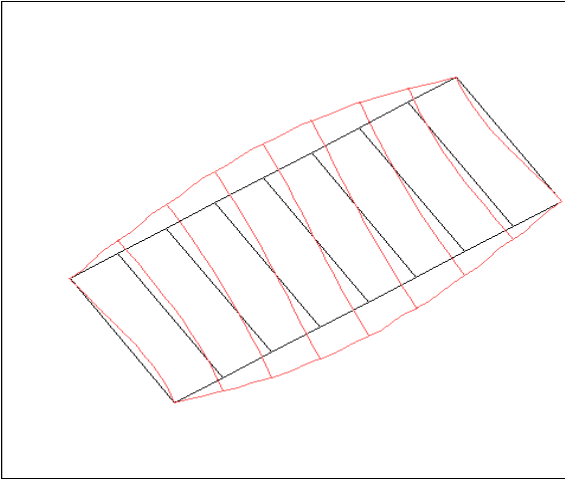
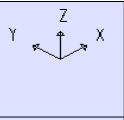
Se calcularon los **coeficientes de impacto** de la estructura, a partir de las flechas del punto $M\alpha 1$ para el paso de la circulación a velocidad media (30 Km/h) y a velocidad máxima (80 Km/h), considerando un coeficiente de amortiguación del 2 %, así como el valor teórico de este coeficiente de amplificación según la “*Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril*” de 1975.

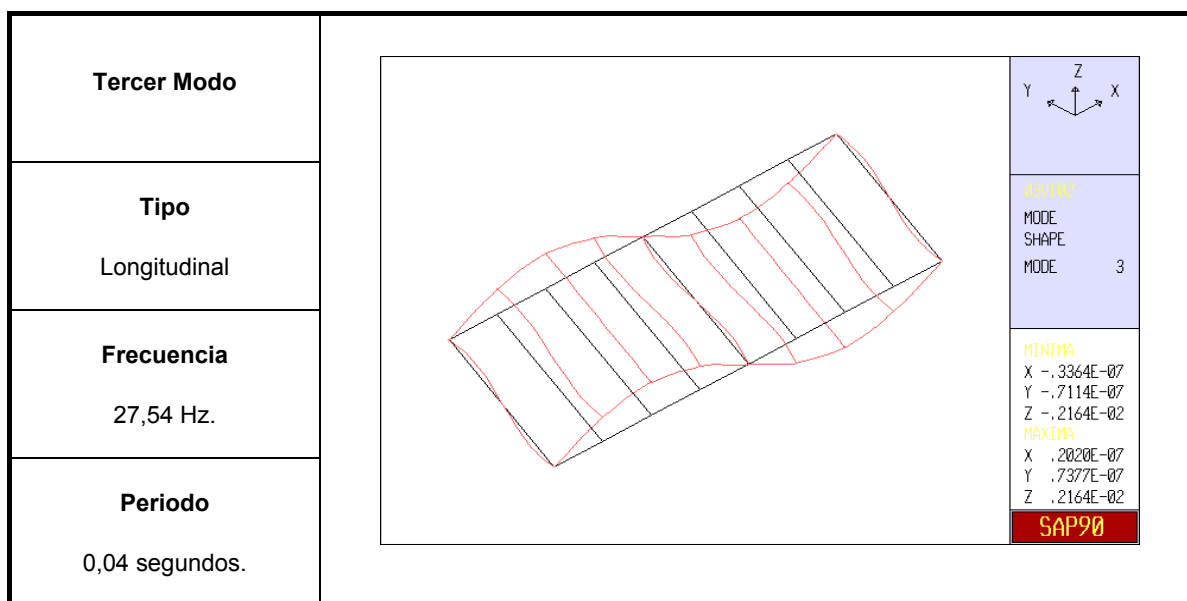


6.4.4. Frecuencias

Por otra parte, se efectuó un cálculo de las **frecuencias** de los tres primeros modos de vibración libre de la estructura. Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Primer Modo	  03VI02 MODE SHAPE MODE 1 MINIMA X .0000E+00 Y -.1578E-09 Z .0000E+00 MAXIMA X .1005E-09 Y .2230E-09 Z .2119E-02 SAP90
Tipo	
Longitudinal	
Frecuencia	
7,01 Hz.	
Periodo	
0,14 segundos.	

Segundo Modo	  03VI02 MODE SHAPE MODE 2 MINIMA X -.5551E-09 Y -.7292E-09 Z -.2110E-02 MAXIMA X .1005E-09 Y .9505E-09 Z .2110E-02 SAP90
Tipo	
Transversal	
Frecuencia	
7,85 Hz.	
Periodo	
0,13 segundos.	



7. PRUEBA DE CARGA

7. PRUEBA DE CARGA

7.1. DESCRIPCIÓN

La prueba de carga de la Estructura 03VI02, de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur, se llevó a cabo el día 29 de Julio de 2002.

Como sobrecarga se utilizaron dos locomotoras de la serie 060, con las características indicadas anteriormente en el apartado 6.1 “*Acciones reproducidas*”.

Durante la realización de los ensayos de carga, las condiciones atmosféricas de temperatura y humedad relativa ambiente variaron entre:

Instante (fecha y hora)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
Inicio ensayo (29/07/02 21:55)	32,2	10,8
Fin ensayo (29/07/02 23:09)	30,1	15,3

Las medidas durante los ensayos estáticos se realizaron de acuerdo con las siguientes fases:

- I. Toma de valores iniciales de las medidas.
- II. Situación de la primera locomotora, con la posición indicada en el Croquis de Carga incluido en el anejo 3 de este documento.
- III. Estabilización de las medidas. Se realizaron medidas continuas hasta comprobar que se había alcanzado la estabilización de las lecturas.
- IV. Situación de la segunda locomotora, repitiendo las fases II y III.
- V. Estabilización de las medidas. Cuando se encontraron posicionadas las locomotoras previstas, se realizaron medidas continuas hasta comprobar que se alcanza la estabilización de las lecturas. El tiempo de mantenimiento de las cargas no fue inferior a 10 minutos.
- VI. Descarga de la estructura, haciendo circular las locomotoras hasta salir completamente del tablero.
- VII. Medidas de recuperación. Se realizaron medidas continuas con el puente descargado hasta alcanzar la estabilización de las lecturas, y una recuperación mínima del 85 % en un intervalo de tiempo no superior al de mantenimiento de la carga dentro del dintel en la fase V.

Se realizaron tres pruebas estáticas, mediante las cuales se materializó, para cada uno de los vanos, la hipótesis de cálculo contemplada en el Proyecto de Prueba de Carga:

			Hora	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Duración
EST00	Vano 1	Inicio prueba	22:21	30,1	15,3	18 minutos
		Fin prueba	22:39	29,5	14,8	
EST02	Vano 2	Inicio prueba	23:09	29,1	14,2	20 minutos
		Fin prueba	23:29	29,0	14,0	
EST03	Vano 3	Inicio prueba	22:40	29,5	14,8	23 minutos
		Fin prueba	23:03	29,1	14,2	

Los ensayos dinámicos se desarrollaron en el siguiente orden:

- **Prueba cuasiestática:** Paso de la locomotora circulando sobre la estructura a una velocidad en torno a 5 Km/h.
- **Prueba a velocidad media:** Paso de la locomotora circulando sobre la estructura circulando a velocidad media (en torno a 30 Km/h).
- **Prueba a velocidad máxima:** Paso de la locomotora circulando sobre la estructura a la máxima velocidad constante que sea posible alcanzar teniendo en cuenta las exigencias de seguridad de la obra. (en torno a 80 Km/h)
- **Prueba de frenado:** Paso de la locomotora circulando sobre la estructura a máxima velocidad, efectuando el frenado en la sección central de la estructura, teniendo en cuenta las exigencias de seguridad de la obra.

Se efectuaron las siguientes pruebas dinámicas:

Ensayo	Hora de inicio	Vía	Tipo	Velocidad real (Km/h)
DINÁMICA 01	21:55	2	Cuasiestática	8,5
DINÁMICA 02	22:02	2	V. media	43,4
DINÁMICA 03	22:08	2	V. máxima	70,2
DINÁMICA 04	22:15	2	V. máx.+ Frenado	-

7.2. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presentan los **máximos valores** de flecha y deformación unitaria obtenidos durante la realización de los ensayos de la prueba de carga en la Estructura 03VI02, de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur, (valores negativos de flecha indican descenso y valores positivos de deformación unitaria indican tracción).

Vano	Ensayo	Flecha (mm)	Deformación ($\mu\epsilon$)
1	Estático	-2,30	85
	Dinámicos sin frenada	-1,63	62
	Dinámico con frenada	-1,63	61
2	Estático	-2,55	-
	Dinámicos sin frenada	-1,66	-
	Dinámico con frenada	-1,65	-
3	Estático	-2,48	89
	Dinámicos sin frenada	-1,75	67
	Dinámico con frenada	-1,74	68

De esta forma, los porcentajes alcanzados durante los ensayos, respecto a las sollicitaciones máximas previstas en el cálculo teórico para la Prueba de Carga y valores de cálculo recogidos en el Proyecto de la estructura, son los siguientes (unidades en KN m / m):

	Momentos de Proyecto			Momentos teóricos en prueba		Momentos reales alcanzados		% Prueba	% Proyecto
	CP	SC	Total	SC	Total	SC	Total		
Vano 1	3.777	4.618	8.395	1.472	5.249	1.250	5.027	95,8	59,9
Vano 3	3.777	4.618	8.395	1.472	5.249	1.288	5.065	96,5	60,3

Para la obtención de las flechas netas se han restado los valores de descenso de apoyo de las medidas en carga correspondientes (flechas brutas). Teniendo en cuenta que la medida de la flecha se efectúa a una cierta distancia del eje del apoyo y, por tanto, existe una parte del movimiento registrado que corresponde a la deformada elástica del tablero, estas flechas han sido corregidas en función de la citada deformada y del porcentaje de flecha movilizado en la viga correspondiente, según la fórmula:

$$d_r = d_m - f_b \times f_a / f_t$$

donde:

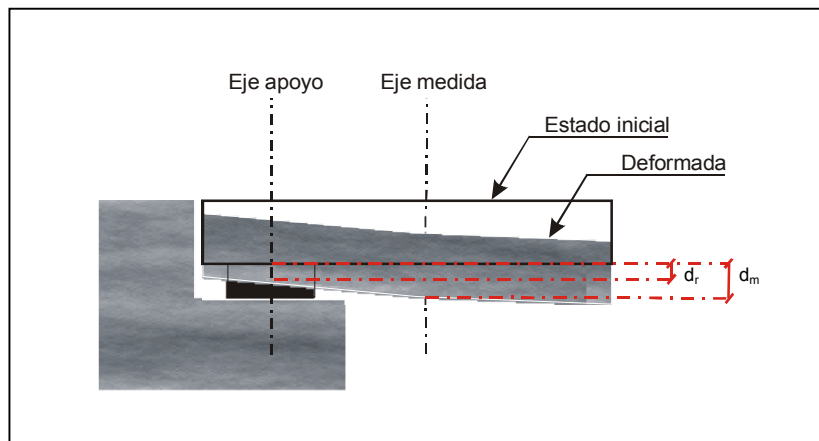
d_r : flecha real en el apoyo, a restar de la flecha bruta.

d_m : flecha medida a una distancia del eje de apoyo.

f_b : flecha bruta medida en L/2.

f_a : flecha teórica calculada a una distancia determinada del eje de apoyo.

f_t : flecha teórica calculada en L/2.



Los descensos de los apoyos, corregidos según la anterior expresión, son los siguientes:

Vano cargado	Código	Descenso medido [d_m] (mm)	Distancia al eje (m)	Descenso elástico [f_a] (mm)	Relación f_b/f_t	Descenso real [d_r] (mm)
1	M13	-0,74	1,00	-0,53	0,86	-0,28
	M14	-0,51	1,00	-0,53	0,86	-0,05
	M15	-0,56	1,00	-0,53	0,77	-0,15
3	M33	-0,66	1,00	-0,53	0,93	-0,17
	M34	-0,55	1,00	-0,53	0,82	0,12
	M35	-0,82	1,00	-0,53	0,82	-0,39

Independientemente de la anterior corrección, los descensos de apoyo utilizados para cada una de las vigas se han obtenido bien de los apoyos instrumentados en la misma viga, bien de la aplicación de simetrías/antimetrias, si los apoyos correspondientes no están instrumentados. Con estas consideraciones, los descensos se han calculado de la siguiente forma:

	Vano	Sensor	Resultado de:	Valor
ESTÁTICA 00	1	M11	$\frac{1}{2} \cdot (M13+M14)$	-0,17
		M12	M15	-0,15
ESTÁTICA 02	2 [*]	M21	-	-0,19
		M22	-	-0,19
ESTÁTICAS 03	3	M31	M33	-0,17
		M32	$\frac{1}{2} \cdot (M34+M35)$	-0,26

[*] Al no haberse podido instrumentar los apoyos del vano central, se toma como descenso de apoyo para este vano la media de los descensos medidos en los vanos extremos.

Se señala el correcto funcionamiento de todos los sensores durante la realización de la prueba de carga, a excepción de la ménsula M15, que no registró medidas en la prueba DIN04.

A continuación se recogen varias tablas en detalle con los resultados de las mediciones efectuadas en cada uno de los ensayos realizados sobre la estructura (los valores de movimiento con signo negativo indican descenso y los valores positivos de deformación unitaria indican tracción).

AUSCULTACIÓN DE ESTRUCTURAS

Obra: L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa
Tramo Madrid – Zaragoza. Base Madrid Sur

Ciente: Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF)

Fecha: Noviembre 2002

ENSAYO	VANO	VANO CARGADO
ESTÁTICA 00	1	1

Punto	Canal	Descripción	Uds	Valor previsto	Medida en carga	Descenso neopreno	Flecha neta	% obtenido	Medida descarga	Descarga neopreno	Descarga neta	Recuperación	% recuperación
M11	01	Flecha a L/2	mm	-2,68	-2,30	-0,17	-2,13	79,5	0,00	0,00	0,00	-2,13	100,0
M12	02	Flecha a L/2	mm	-2,68	-2,07	-0,15	-1,92	71,6	0,00	0,01	-0,01	-1,91	99,5
M13	03	Descenso de neopreno	mm	-	-0,74	-	-	-	0,00	-	-	-0,74	100,0
M14	04	Descenso de neopreno	mm	-	-0,51	-	-	-	0,00	-	-	-0,51	100,0
M15	05	Descenso de neopreno	mm	-	-0,56	-	-	-	0,01	-	-	-0,57	101,8
G11	06	Deformación a L/2	με	96	85	-	-	88,0	0	-	-	85	100,0
G12	07	Deformación a L/2	με	96	78	-	-	81,3	0	-	-	78	100,0

AUSCULTACIÓN DE ESTRUCTURAS

Obra: L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa
Tramo Madrid – Zaragoza. Base Madrid Sur

Ciente: Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF)

Fecha: Agosto 2002

ENSAYO	VANO	VANO CARGADO
ESTÁTICA 02	2	2

Punto	Canal	Descripción	Uds	Valor previsto	Medida en carga	Descenso neopreno	Flecha neta	% obtenido	Medida descarga	Descarga neopreno	Descarga neta	Recuperación	% recuperación
M21	34	Flecha a L/2	mm	-2,68	-2,55	-0,19	-2,36	88,2	-0,02	0,00	-0,02	-2,34	99,2
M22	35	Flecha a L/2	mm	-2,68	-2,21	-0,19	-2,02	75,5	-0,08	0,00	-0,08	-1,94	96,0

ENSAYO	VANO	VANO CARGADO
ESTÁTICA 03	3	3

Punto	Canal	Descripción	Uds	Valor previsto	Medida en carga	Descenso neopreno	Flecha neta	% obtenido	Medida descarga	Descarga neopreno	Descarga neta	Recuperación	% recuperación
M31	01	Flecha a L/2	mm	-2,68	-2,48	-0,17	-2,31	86,2	0,00	0,00	0,00	-2,31	100,0
M32	02	Flecha a L/2	mm	-2,68	-2,19	-0,26	-1,93	72,0	0,00	0,00	0,00	-1,93	100,0
M33	03	Descenso de neopreno	mm	-	-0,66	-	-	-	0,00	-	-	-0,66	100,0
M34	04	Descenso de neopreno	mm	-	-0,55	-	-	-	0,00	-	-	-0,55	100,0
M35	05	Descenso de neopreno	mm	-	-0,82	-	-	-	0,00	-	-	-0,82	100,0
G31	06	Deformación a L/2	με	96	89	-	-	93,2	0	-	-	89,43	100,0
G32	07	Deformación a L/2	με	96	79	-	-	82,3	0	-	-	79,00	100,0

AUSCULTACIÓN DE ESTRUCTURAS
Obra: L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa

Tramo Madrid – Zaragoza. Base Madrid Sur

Cliente: Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF)

Fecha: Agosto 2002

ENSAYO	VANOS	TIPO	VELOCIDAD
DINAMICA 01	1, 2 y 3	Velocidad lenta	8,5 Km/h

Punto	Canal	Descripción	Uds	Valor cuasiestático	Medida en carga	Medida en descarga	Coefficiente de impacto real
M11	00	Flecha a L/2	mm		-0,52	0,00	
M12	01	Flecha a L/2	mm		-1,63	0,00	
M13	02	Descenso de neopreno	mm		-0,10	0,02	
M14	03	Descenso de neopreno	mm		-0,46	0,01	
M15	04	Descenso de neopreno	mm		-0,23	0,00	
G11	05	Deformación a L/2	με		22	0	
G12	06	Deformación a L/2	με		62	0	
M21	34	Flecha a L/2	mm		-0,42	0,01	
M22	35	Flecha a L/2	mm		-1,66	0,00	
M31	09	Descenso de neopreno	mm		-0,56	0,00	
M32	10	Descenso de neopreno	mm		-1,72	0,01	
M33	11	Descenso de neopreno	mm		-0,09	0,01	
M34	12	Descenso de neopreno	mm		-0,45	0,00	
M35	13	Descenso de neopreno	mm		-0,60	0,00	
G31	14	Deformación a L/2	με		22	0	
G32	15	Deformación a L/2	με		66	0	

ENSAYO	VANOS	TIPO	VELOCIDAD
DINAMICA 02	1, 2 y 3	Velocidad Media	43,4 Km/h

Punto	Canal	Descripción	Uds	Valor cuasiestático	Medida en carga	Medida en descarga	Coefficiente de impacto real
M11	00	Flecha a L/2	mm	-0,52	-0,51	0,00	0,98
M12	01	Flecha a L/2	mm	-1,63	-1,61	0,01	0,99
M13	02	Descenso de neopreno	mm	-0,10	-0,10	0,00	-
M14	03	Descenso de neopreno	mm	-0,46	-0,46	-0,01	-
M15	04	Descenso de neopreno	mm	-0,23	-0,23	0,01	-
G11	05	Deformación a L/2	με	22	22	0	1,00
G12	06	Deformación a L/2	με	62	61	0	0,98
M21	34	Flecha a L/2	mm	-0,42	-0,42	0,01	1,00
M22	35	Flecha a L/2	mm	-1,66	-1,66	0,01	1,00
M31	09	Flecha a L/2	mm	-0,56	-0,55	0,02	0,98
M32	10	Flecha a L/2	mm	-1,72	-1,72	-0,02	1,00
M33	11	Descenso de neopreno	mm	-0,09	-0,11	-0,01	-
M34	12	Descenso de neopreno	mm	-0,45	-0,45	0,01	-
M35	13	Descenso de neopreno	mm	-0,60	-0,59	-0,01	-
G31	14	Deformación a L/2	με	22	20	0	0,91
G32	15	Deformación a L/2	με	66	65	0	0,98

AUSCULTACIÓN DE ESTRUCTURAS

Obra: L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa
Tramo Madrid – Zaragoza. Base Madrid Sur

Cliente: Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF)

Fecha: Agosto 2002

ENSAYO	VANOS	TIPO	VELOCIDAD
DINAMICA 03	1, 2 y 3	Velocidad Maxima	70,2 Km/h

Punto	Canal	Descripción	Uds	Valor cuasiestático	Medida en carga	Medida en descarga	Coefficiente de impacto real
M11	00	Flecha a L/2	mm	-0,52	-0,51	0,00	0,98
M12	01	Flecha a L/2	mm	-1,63	-1,63	0,00	1,00
M13	02	Descenso de neopreno	mm	-0,10	-0,09	0,01	-
M14	03	Descenso de neopreno	mm	-0,46	-0,47	-0,01	-
M15	04	Descenso de neopreno	mm	-0,23	-0,27	0,01	-
G11	05	Deformación a L/2	με	22	23	0	1,05
G12	06	Deformación a L/2	με	62	59	0	0,95
M21	34	Flecha a L/2	mm	-0,42	-0,43	0,00	1,02
M22	35	Flecha a L/2	mm	-1,66	-1,66	0,00	1,00
M31	09	Flecha a L/2	mm	-0,56	-0,54	0,01	0,96
M32	10	Flecha a L/2	mm	-1,72	-1,75	0,00	1,02
M33	11	Descenso de neopreno	mm	-0,09	-0,10	0,01	-
M34	12	Descenso de neopreno	mm	-0,45	-0,45	0,00	-
M35	13	Descenso de neopreno	mm	-0,60	-0,59	0,01	-
G31	14	Deformación a L/2	με	22	21	0	0,95
G32	15	Deformación a L/2	με	66	67	0	1,02

AUSCULTACIÓN DE ESTRUCTURAS

Obra: L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa
Tramo Madrid – Zaragoza. Base Madrid Sur

Cliente: Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF)

Fecha: Agosto 2002

ENSAYO	VANOS	TIPO	VELOCIDAD
DINAMICA 04	1, 2 y 3	Velocidad Max. + Frenado	-

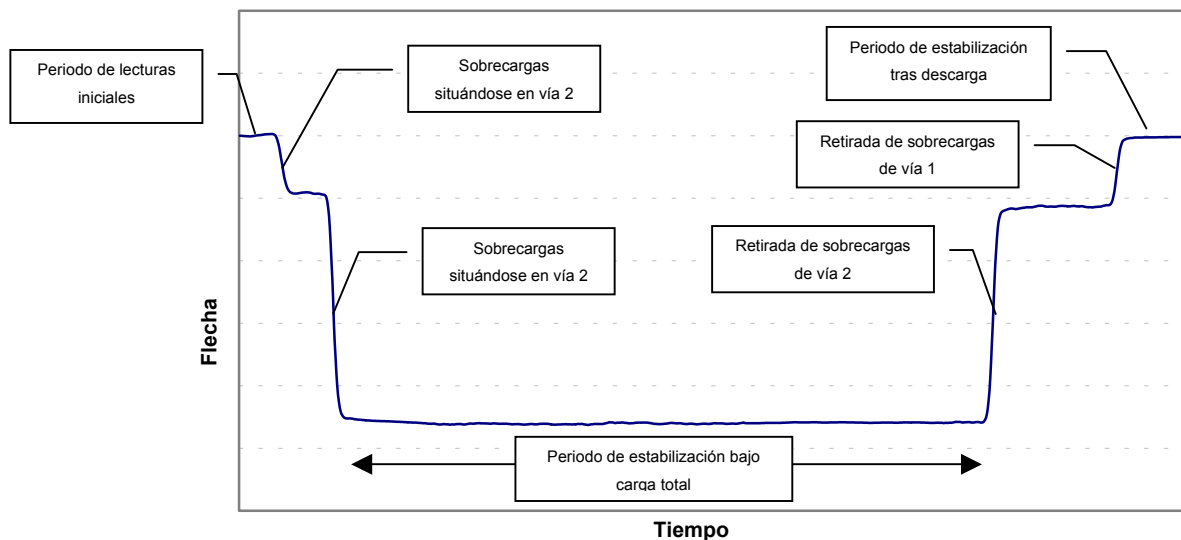
Punto	Canal	Descripción	Uds	Valor cuasiestático	Medida en carga	Medida en descarga	Coefficiente de impacto real
M11	00	Flecha a L/2	mm	-0,52	-0,52	0,02	1,00
M12	01	Flecha a L/2	mm	-1,63	-1,63	-0,01	1,00
M13	02	Descenso de neopreno	mm	-0,10	-0,10	0,00	-
M14	03	Descenso de neopreno	mm	-0,46	-0,46	0,00	-
M15	04	Descenso de neopreno	mm	-0,23	-	-	-
G11	05	Deformación a L/2	με	22	21	0	0,95
G12	06	Deformación a L/2	με	62	61	0	0,98
M21	34	Flecha a L/2	mm	-0,42	-0,42	0,00	1,00
M22	35	Flecha a L/2	mm	-1,60	-1,65	-0,01	1,03
M31	09	Descenso de neopreno	mm	-0,56	-0,55	0,00	0,98
M32	10	Descenso de neopreno	mm	-1,72	-1,74	0,01	1,01
M33	11	Descenso de neopreno	mm	-0,09	-0,11	-0,01	-
M34	12	Descenso de neopreno	mm	-0,45	-0,44	0,00	-
M35	13	Descenso de neopreno	mm	-0,60	-0,59	-0,01	-
G31	14	Deformación a L/2	με	22	22	0	1,00
G32	15	Deformación a L/2	με	66	68	0	1,03

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1. PRUEBA ESTÁTICA

Las pruebas estáticas realizadas en la Estructura 03VI02 de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur, se desarrollaron según las siguientes fases, indicadas sobre la curva tipo registrada para estos ensayos:



Durante las pruebas estáticas se han medido unos valores de flecha y deformación unitaria cuyos porcentajes respecto a las magnitudes previstas en el Cálculo Teórico para la Prueba de Carga están comprendidos entre:

FLECHAS

Prueba	Vano Cargado	% obtenidos	% Medio
ESTATICA 00	1	71,6 - 79,5	75,6
ESTATICA 02	2	75,5 - 88,2	81,8
ESTATICA 03	3	72,0 - 86,2	79,1

DEFORMACIONES UNITARIAS

Prueba	Vano Cargado	% obtenidos	% Medio
ESTATICA 00	1	81,3 – 88,0	84,6
ESTATICA 03	3	82,3 - 93,2	87,7

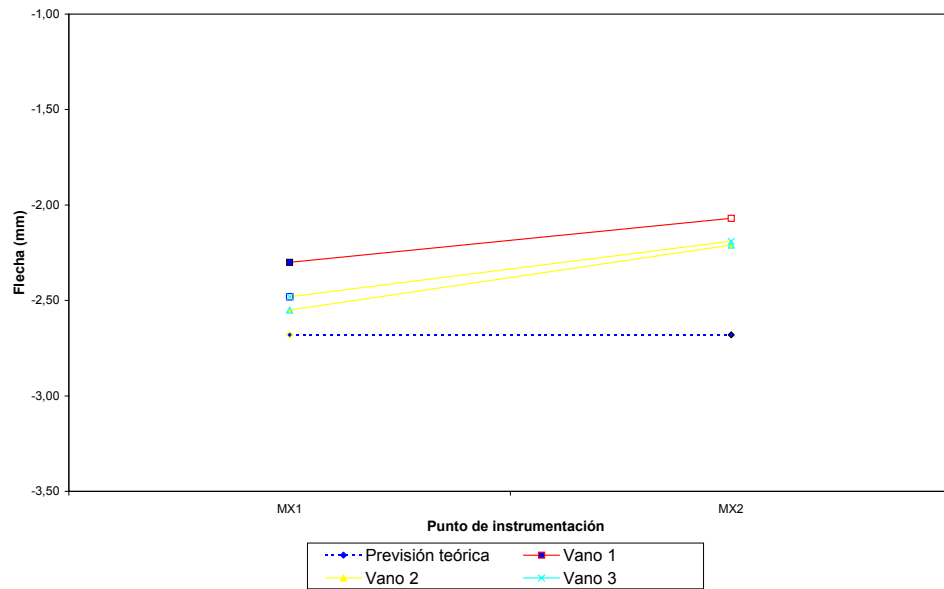
El valor del % medio, tanto para flechas como para deformaciones unitarias, se ha calculado ponderando el porcentaje obtenido en cada punto en función de la medida registrada en ese mismo punto. De esta forma, el valor del porcentaje medio puede interpretarse directamente como una aproximación a la relación entre la rigidez longitudinal teórica y la real.

Como se puede apreciar el valor medio de las flechas y deformaciones unitarias medidas son inferiores a los calculados en el Proyecto de Prueba de carga, siendo por tanto la rigidez longitudinal real superior a la teórica.

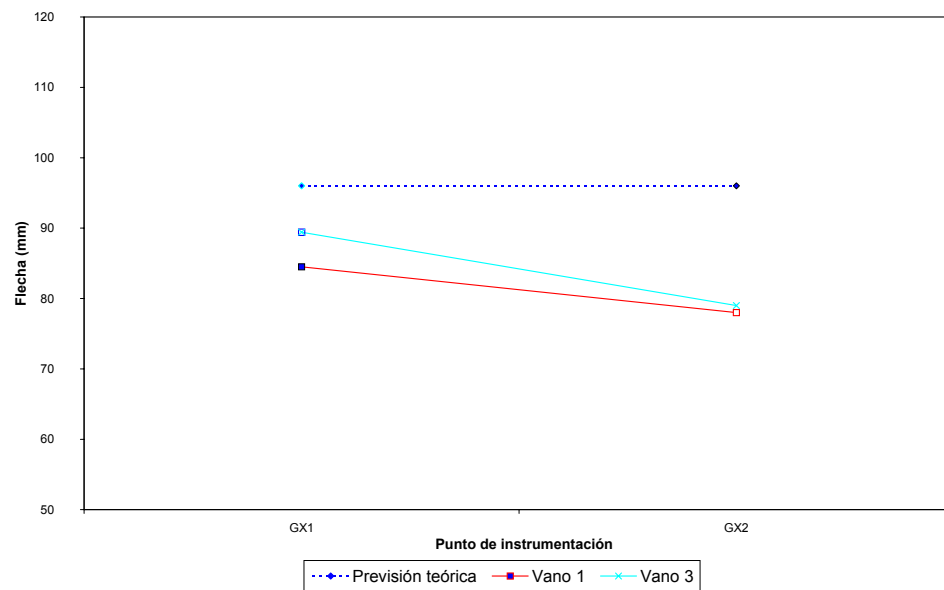
En cuanto a las diferencias que se aprecian entre los porcentajes alcanzados en flecha y los obtenidos en deformación, debe señalarse que la medida de flecha integra una serie de características del hormigón, tales como microfisuras, heterogeneidades del hormigón, etc., que la medida puntual de una banda no llega a homogeneizar. A pesar de los factores indicados, se aprecia la similitud existente en los porcentajes obtenidos a partir de la medida de flechas y deformaciones.

La diferencia entre el comportamiento teórico previsto en el Proyecto de Prueba de Carga y el medido durante la realización del ensayo se aprecia en los siguientes gráficos:

03VI02
Reparto transversal en ensayos estáticos para valores de flecha
VANOS 1,2 y 3



03VI02
Reparto transversal en ensayos estáticos para valores de deformación
VANOS 1 y 3



Los **porcentajes de recuperación** alcanzados en flechas y deformaciones del tablero han sido correctos, ya que los valores remanentes no recuperados han sido inferiores al 15 % en todos los puntos instrumentados. Las recuperaciones de flechas y deformaciones medidas en centro de vano se resumen en las siguientes tablas:

PORCENTAJES DE RECUPERACIÓN DE FLECHAS MEDIDAS EN CENTRO DE VANO

Prueba	Vano Cargado	% obtenidos	% Medio
ESTATICA 01	1	99.5 - 100.0	99,8
ESTATICA 02	2	96,0 - 99,2	97,6
ESTATICA 03	3	100,0 - 100,0	100,0

PORCENTAJES DE RECUPERACIÓN DE DEFORMACIONES MEDIDAS EN CENTRO DE VANO

Prueba	Vano Cargado	% obtenidos	% Medio
ESTATICA 01	1	100,0 – 100,0	100,0
ESTATICA 03	3	100,0 – 100,0	100,0

La relación **flecha / luz** que se obtiene para el máximo movimiento registrado en la sección a L/2 durante la prueba estática fue:

Vano	Luz de cálculo (m)	Máxima flecha (mm)	Relación Flecha / Luz
1	14,16	-2,13	1/6647
2	14,16	-2,36	1/6000
3	14,16	-2,31	1/6129

Estas relaciones son muy inferiores a las admisibles para este tipo de estructuras que pueden llegar a ser de hasta 1/700.

8.2. PRUEBAS DINÁMICAS

Del estudio de las pruebas dinámicas efectuadas a diferentes velocidades (ensayo cuasiestático, ensayo a velocidad media, ensayo a velocidad máxima y ensayo a velocidad máxima con frenada) se obtienen los siguientes valores experimentales del coeficiente de impacto en los puntos instrumentados:

Coeficientes de impacto a velocidad media

Vano	Flechas		Deformaciones	
	Coef. Impacto	Coef. Medio	Coef. Impacto	Coef. Medio
1	0,98 - 0,99	0,98	0,98 - 1,00	0,99
2	1,00 - 1,00	1,00	-	-
3	0,98 - 1,00	0,99	0,91 - 0,98	0,95

Coeficientes de impacto a velocidad máxima

Vano	Flechas		Deformaciones	
	Coef. Impacto	Coef. Medio	Coef. Impacto	Coef. Medio
1	0,98 - 1,00	0,99	0,95 - 1,05	1,00
2	1,00 - 1,02	1,01	-	-
3	0,96 - 1,02	0,99	0,95 - 1,02	0,98

Coeficientes de impacto con frenado

Vano	Flechas		Deformaciones	
	Coef. Impacto	Coef. Medio	Coef. Impacto	Coef. Medio
1	1,00 - 1,00	1,00	0,98 - 1,00	0,99
2	0,98 - 1,03	1,01	-	-
3	1,01 - 1,01	1,01	1,00 - 1,03	1,02

El factor de amplificación dinámica experimenta variación (sobrevaloración o infravaloración) en función de la distancia a los bordes del tablero y la rigidez transversal. Dependiendo de la tipología de la estructura y características de la carga de excitación dinámica aplicada, los efectos señalados se pueden evitar estudiando los factores de amplificación en el eje longitudinal o analizando los valores medios resultantes. Consideramos como cifras representativas del coeficiente de impacto el valor medio calculado a partir de las medidas registradas en los puntos de medida situados en centro de vano.

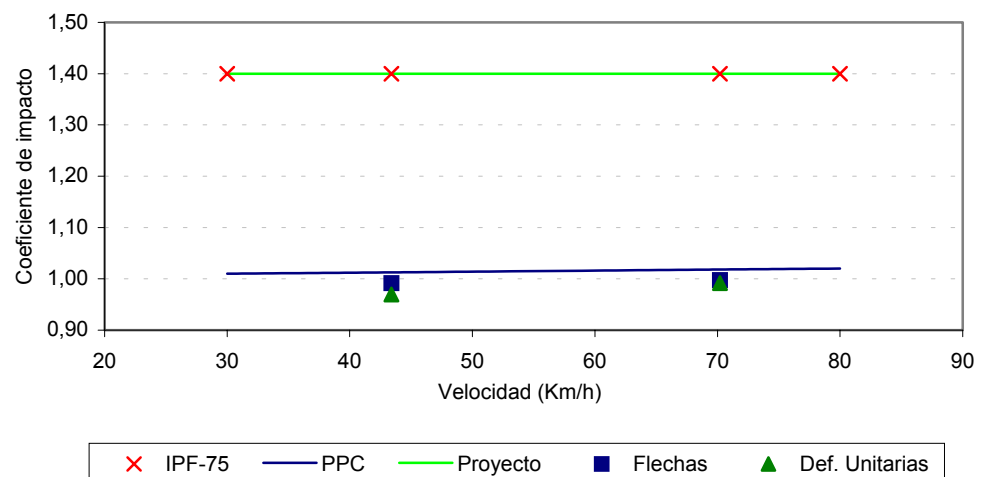
A modo de resumen, en la siguiente tabla se comparan los valores medios de los coeficientes de impacto obtenidos para los tres vanos con los valores teóricos calculados mediante el modelo de cálculo, así como con los coeficientes recogidos en la IPF-75 y en el Proyecto de la estructura:

Prueba	Velocidad (Km/h)	IPF-75 (*)	PPC (*)	Pry (**)	Flechas		Def. unitarias	
					Coef. Impacto	Coef. Eje	Coef. Impacto	Coef. eje
Velocidad media (DIN 02)	43,4	1,40	1,01	1,40	0,98 - 1,00	0,99	0,91 - 1,00	0,97
Velocidad máxima (DIN 03)	70,2	1,40	1,02		0,96 - 1,02	1,00	0,95 - 1,05	0,99
V. máxima + frenado (DIN 04)	-	-	-		0,98 - 1,03	1,00	0,95 - 1,03	0,99

(*) La columna PPC presenta el cálculo dinámico incluido en el Proyecto de Prueba de Carga. Tanto en la columna IPF-75 como en la PPC los valores incluidos se han calculado aplicado a las velocidades reales durante los ensayos.

(**) La columna "Pry" presenta el valor del coeficiente de impacto adoptado en proyecto.

NOTA: Los valores incluidos en las columnas de coeficientes de impacto se refieren al máximo y al mínimo de los medidos y a la media de los coeficientes en el eje, para los tres vanos de la estructura.

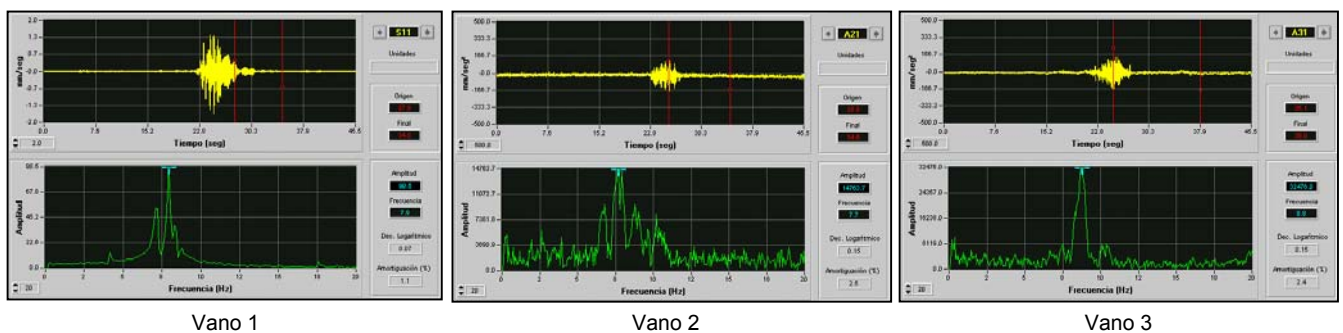


Los valores obtenidos son correctos y habituales en éste tipo de estructuras. Las diferencias entre los coeficientes de impacto calculados a partir de las medidas de flecha y de deformación que responden a que, dada la magnitud de los valores medidos, variaciones en las medidas del orden de la precisión del sistema de medida dan lugar a importantes variaciones en los coeficientes calculados.

Del registro obtenido en la prueba de frenado mediante sismómetro o acelerómetro situado en la sección central del marco se determina la frecuencia propia de vibración de la estructura.

El cálculo de la frecuencia de vibración de la estructura se realiza mediante el análisis de la señal utilizando la **Transformada Rápida de Fourier (FFT)**. Posteriormente, como resultado del análisis del espectro de frecuencia por el **método del ancho eficaz de banda**, se estiman los valores de decremento logarítmico y amortiguación. Los valores calculados son los que se presentan en la siguiente tabla:

Vano	Frecuencia (Hz)	Frecuencia teórica (Hz)	Decremento logarítmico	Amortiguación (%)
1	7,95	7,01	0,07	1,06
2	7,71		0,15	2,47
3	8,79		0,15	2,42



Los valores medidos son superiores a la frecuencia de vibración longitudinal estimada teóricamente, lo cual confirma las medidas registradas tanto en flechas como en deformaciones unitarias, indicando una rigidez longitudinal real superior a la del modelo de cálculo.

Indicamos que el valor de amplitud que aparece en los gráficos de los espectros de frecuencia no tiene un significado físico o ingenieril, ya que corresponde solamente a los coeficientes de peso de los términos del desarrollo en serie de Fourier.

A la vista de los resultados, debe indicarse que se ha realimentado el modelo de cálculo dinámico con los valores de la amortiguación medida (1,1% y 2,4 %) en lugar de con el valor teórico considerado inicialmente en el cálculo (2,0%), sin que se hayan registrado variaciones significativas en los resultados obtenidos. Por tanto, no se considera necesario incluir el recálculo en el análisis incluido en las páginas anteriores.

El valor de la amortiguación se puede considerar normal. En los registros no se observa ningún comportamiento que pueda considerarse anormal desde el punto de vista de los fenómenos de amplificación dinámica.

9. CONCLUSIONES

9. CONCLUSIONES

De todo lo expuesto en el presente Informe de la Prueba de Carga realizada en la Estructura 03VI02 de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur, destacamos lo siguiente:

- Se comprobó que las dimensiones principales de la estructura eran coincidentes con lo indicado en los planos de la estructura, así como que estos valores geométricos eran los empleados en la definición de los modelos de cálculo. No existen anomalías que afecten a la capacidad resistente desde el punto de vista dimensional.
- Durante la inspección no se ha observado ninguna patología que afecte a los niveles de seguridad resistentes de la estructura.
- Los valores de flecha y deformación unitaria alcanzados han sido inferiores a los valores teóricos calculados. Las magnitudes medidas se consideran correctas y habituales en este tipo de estructuras.
- Los valores remanentes de flechas y deformaciones han sido inferiores al 10 %, pudiendo afirmarse en consecuencia que el comportamiento de la estructura ha sido esencialmente elástico.
- Los coeficientes de impacto sin frenado obtenidos de la relación entre los valores de flecha alcanzados en las pruebas cuasiestáticas y ensayos dinámicos a mayor velocidad, han sido acordes con los obtenidos realizando el estudio en deformaciones, y con los valores previstos, según la IAPF-75 y el análisis dinámico incluido en el Proyecto de Prueba de Carga. Los valores calculados para el factor de amplificación dinámica se consideran correctos y habituales en este tipo de estructuras.
- Los coeficientes de impacto con frenado obtenidos de la relación entre los valores de flecha alcanzados en las pruebas cuasiestáticas y ensayos dinámicos a mayor velocidad, han sido acordes con los obtenidos realizando el estudio en deformaciones. Los valores calculados del factor de amplificación dinámica con frenado se consideran correctas y habituales en este tipo de estructuras.
- Se ha obtenido la frecuencia propia de vibración de cada uno de los tres vanos de la estructura. Los valores de frecuencia obtenidos son en todos los casos superiores a la prevista

en el modelo de teórico, lo cual confirma las medidas registradas tanto en flechas como en deformaciones unitarias, que indican una rigidez real superior a la teórica.

A la vista de todo lo expuesto anteriormente, se puede afirmar que la Prueba de Carga realizada sobre la Estructura 03VI02 de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur, ha proporcionado resultados satisfactorios, quedando constancia de su capacidad resistente, cumpliendo con los niveles de seguridad exigidos.

Asimismo, la estructura se considera apta para cumplir sus objetivos desde el punto de vista funcional.

El presente documento consta de **SESENTA Y SIETE (67)** páginas numeradas y **OCHO (8)** Anejos sin paginar.

Madrid, Diciembre de 2002

Vº Bº Oficina Técnica



Fdo.: Andrés Vicente Zapata
Ingeniero técnico de Obras Públicas



Fdo: Pablo Fernández Bea
Ingeniero de Caminos

Vº Bº Área de Construcción y Civil



Fdo: Carlos Moreno Blanes
Ingeniero de Caminos

10. ANEJOS

10.1. ANEJO N° 1: DOCUMENTACIÓN FACILITADA POR EL GIF

10.1 ANEJO Nº1: DOCUMENTACIÓN FACILITADA POR EL GIF

La documentación, facilitada a IIC por el GIF, que ha sido utilizada para la elaboración de Proyecto y el Informe de Prueba de Carga de la Estructura 03VI02 es la que se ha detallado en el apartado nº 5 del presente documento.

10.2. ANEJO Nº 2: PROYECTO DE PRUEBA DE CARGA

CLIENTE: **GESTOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS (GIF)**

OBRA: **L.A.V. MADRID – BARCELONA – FRONTERA – FRANCESA**
TRAMO MADRID – ZARAGOZA. BASE MADRID - SUR

PROYECTO DE PRUEBA DE CARGA

ESTRUCTURA 03VI02
L.A.V. MADRID – BARCELONA – FRONTERA FRANCESA
TRAMO MADRID – ZARAGOZA. BASE MADRID SUR

JULIO 2002

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA	4
3. ACTUACIONES PREVIAS A LA PRUEBA DE CARGA	7
3.1. Análisis de la documentación de la estructura	8
3.2. Inspección previa.....	11
4. JUSTIFICACIÓN DE LA SOBRECARGA DE PRUEBA.....	13
5. MEDIDAS A REALIZAR	16
5.1. Control de flechas.....	17
5.2. Control de deformaciones unitarias.....	17
5.3. Control de aceleraciones.....	18
5.4. Otros controles	18
6. PLAN DE CARGA Y PROGRAMACIÓN DEL ENSAYO	19
6.1. Pruebas Estáticas.....	20
6.2. Pruebas Dinámicas	21
7. PREVISIÓN DE RESULTADOS.....	22
7.1. Cálculo de flechas y deformaciones.....	24
7.2. Coeficientes de impacto	25
7.3. Cálculo de frecuencias	26
8. ANEJOS	
8.1. Anejo nº 1: Cálculos justificativos	
8.2. Anejo nº 2: Análisis del proyecto de la estructura	
8.3. Anejo nº 3: Croquis y planos	
8.4. Anejo nº 4: Reportaje fotográfico de la inspección previa	

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la “*Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril*” de 1.975, se deben realizar las correspondientes pruebas de carga estáticas y dinámicas en los puentes de ferrocarril que se proyectan y construyen, previamente a la puesta en servicio de los mismos. De esta forma se verifica si los parámetros de comportamiento son correctos y ajustados a los previstos según el modelo teórico de cálculo empleado en el Proyecto de la estructura.

A instancia del GESTOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS (GIF), INGENIERÍA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL (IIC, S.A), redacta el presente documento, cuyo objeto es la descripción y definición de los trabajos y procedimientos para la prueba de carga definitiva previa a la puesta en servicio de la **Estructura 03VI02** de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base Madrid Sur.

La elaboración del presente documento se inscribe dentro del marco del contrato de “Consultoría y Asistencia Técnica para la Realización de Pruebas de Carga para la recepción de puentes de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – Frontera Francesa. Tramo Madrid – Lleida. Base de Madrid Sur” suscrito por IIC, S.A. con el GIF.

2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

A continuación se describen las principales características de la estructura 03VI02, de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base Madrid Sur, de acuerdo con la documentación facilitada a IIC y con la Inspección Previa realizada el día 11 de Abril de 2002.

La estructura 03VI02 define el paso de la citada línea de ferrocarril sobre la línea de metro Madrid - Arganda. Dicha estructura es una solución de 3 vanos isostáticos, con luces de cálculo de 14,16 m y longitudes de viga de 14,90 m. La planta presenta un esviaje de 67,78° respecto al eje longitudinal de la estructura.

El tablero de la estructura está formado por dos vigas artesa, tipo 90AE-350, de hormigón pretensado (HP-55). El canto de las vigas es de 0,90 m y la separación entre los ejes de las mismas de 6,30 m.

Sobre las vigas se dispone una losa de hormigón armado (HA-35), de 0,30 m de espesor medio y 14,00 m de ancho total.

Las pilas se resuelven mediante doble fuste de sección circular de 1,50 m de diámetro, ensanchándose en su cabeza hasta un diámetro de 1,80 m. La altura de las mismas es de 7,80 m. Las pilas están ejecutadas en hormigón armado ($f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$).

La cimentación de cada pila se resuelve mediante un pilote de 1,80 m de diámetro y longitudes de 13,25 m para la pila P-1 y de 10,25 m para la pila P-2. Los pilotes están ejecutados en hormigón armado ($f_{ck}=25 \text{ N/mm}^2$).

Sobre las pilas se disponen aparatos de neopreno rectangulares de distinta tipología (fijos, unidireccionales y bidireccionales) y de 300 toneladas de capacidad.

La estructura está preparada para el paso de una doble vía de Alta Velocidad (ancho Internacional 1,435 m), con separación entre ejes de 4,50 m.

Se presenta a continuación, a modo de resumen, una tabla con las principales características de la estructura.

Estructura	Tipo de Estructura	Nº de vanos	Luz (m)	Longitud (m)	Tipo de Cimentación
03VI02	Puente	3	3*15	45	Pilotes

En el Anejo Nº 3 se incluyen los planos de la estructura.

3. ACTUACIONES PREVIAS A LA PRUEBA DE CARGA

3. ACTUACIONES PREVIAS A LA PRUEBA DE CARGA

3.1. ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Para la elaboración del presente Proyecto de Prueba de Carga de la estructura 03VI02, de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base Madrid Sur, se han empleado los siguientes documentos:

- Anejo de Cálculo del Proyecto, formado por:
 - Objeto. Planta, alzado y sección transversal de la estructura.
 - Antecedentes.
 - Criterios de Cálculo.
 - Cargas consideradas.
 - Materiales.
 - Cálculo de la pila-pilote.
 - Cálculo de los estribos.
 - Cálculo del tablero.

- Planos de la estructura:
 - Plano General.
 - Estribo 1 definición geométrica.
 - Estribo 2 definición geométrica.
 - Pilas definición geométrica y armaduras.
 - Replanteo.
 - Armado de losa.
 - Tablero. Definición geométrica de vigas (6 hojas).
 - Tablero. Planta de replanteo de placas.
 - Detalles.

Del estudio y análisis de los anteriores documentos, se desprenden las siguientes conclusiones:

- ❑ En el proceso de cálculo se aplican, en distintas combinaciones, las siguientes acciones:
 - Peso propio (viga y losa) + cargas muertas (balasto, vías y traviesas, pendienteado, murete guardabalasto, impostas, barandillas y canaletas).
 - Sobrecargas de uso:
 - ✓ Sobrecarga sobre los paseos de servicio.
 - ✓ Tren de cargas: tren tipo B según se define en el apartado 4.2.1.1 de la “Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril” de 1.975.
- ❑ La modelización del tablero de la estructura se considera correcta. Se han calculado los esfuerzos del tablero, discretizado mediante elementos barra a partir de las dimensiones geométricas del mismo y sometido a las acciones de su peso propio, de las cargas muertas y de las sobrecargas de uso. A partir de estos esfuerzos el programa utilizado dimensiona las armaduras de las secciones a flexocompresión simple y comprueba la resistencia a cortante de las mismas.
- ❑ La obtención de resultados a partir de la aplicación de acciones sobre la estructura discretizada se considera correcta. IIC, S.A. ha desarrollado un modelo utilizando el programa SAP90, donde se ha discretizado la estructura mediante elementos barra unidimensionales (modelo emparrillado plano) y se ha calculado el momento flector de cálculo en la sección central de los vanos, habiéndose comprobado la validez del dimensionamiento estructural adoptado en Proyecto (ver **Anejo nº 2: Análisis del Proyecto de la Estructura**).
- ❑ Las Normas y/o Recomendaciones aplicadas para el cálculo son las siguientes:
 - Acciones:
 - ✓ “Instrucción Relativa a las Acciones a Considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril”, Orden Ministerial del 25 de Junio de 1975.
 - ✓ “Eurocode 1. Basis of Design and Actions on Structures. Part 3.4 Rail Traffic Actions” CEN/TC250/SC1/93/N110 (abril de 1993).

- Materiales:
 - ✓ Hormigón armado:
 - EH-91 “Instrucción para el proyecto y obras de ejecución de obras de hormigón en masa o armado”.
 - ✓ Hormigón pretensado:
 - EP-93 “Instrucción para el proyecto y obras de ejecución de obras de hormigón pretensado”.
- El Control de Calidad especificado en la documentación de la estructura indica los siguientes coeficientes de seguridad:
 - Materiales:
 - ✓ Hormigón tablero: 1,50
 - ✓ Acero de armado del tablero: 1,15
 - ✓ Acero pretensado: 1,10
 - Acciones:
 - ✓ Peso propio:
 - Efecto desfavorable 1,60
 - Efecto favorable 0,90
 - ✓ Acción de las tierras (Peso y empuje):
 - Efecto desfavorable 1,60
 - Efecto favorable 0,90
 - ✓ Sobrecargas:
 - Efecto desfavorable 1,60
 - Efecto favorable 0,00

3.2. INSPECCIÓN PREVIA

Previo a la realización de este proyecto, se llevó a cabo una inspección preliminar de la estructura 03VI02, de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base Madrid Sur el día 11 de Abril de 2002.

En la fecha de la inspección se encontraban ejecutadas la obra de fábrica y la superestructura en su totalidad (ver fotografía nº 3).

Se midieron las dimensiones principales de la estructura (ancho de la losa, longitud de vanos, altura máxima de pilas, gálibo inferior, etc), comprobando que las magnitudes eran coincidentes con las indicadas en los Planos del Proyecto de la misma. Así mismo, se ha confirmado que estos valores geométricos eran los empleados en la definición del modelo de cálculo, de tal forma que no existen anomalías que afecten a la capacidad resistente desde el punto de vista dimensional.

Durante la inspección visual se examinaron en detalle los paramentos de estribos, aletas, pilas, elementos de apoyo y vigas artesa de la estructura, tomándose nota de todos aquellos desperfectos que pudieran tener alguna relevancia desde el punto de vista estructural, de durabilidad, funcional o estética.

En general, y a falta de la confirmación experimental que se efectúe mediante la instrumentación prevista en el ensayo de prueba de carga de recepción de la estructura, y de la inspección definitiva que se realizará a continuación, señalamos que no se han detectado defectos o patologías que afecten a los niveles de seguridad de capacidad resistente de la obra.

Realizada la inspección en estribos, se apreciaron algunas fisuras verticales en paramentos, nidos de grava, humedades y eflorescencias, así como algún golpe, que no presentan importancia desde el punto de vista estructural, aunque sí es conveniente señalarlos desde el punto de vista de la estética y la durabilidad a largo plazo respectivamente. Estos puntos singulares pueden ser zonas potenciales de actuación de agentes climáticos, químicos, etc, donde se generen patologías que conduzcan a lo largo del tiempo hacia defectos más profundos como desprendimientos de recubrimientos, afloramientos de armaduras, etc.

En las pilas se observó la presencia de algún desconchón, eflorescencias y humedades, que no consideramos relevantes desde el punto de vista estructural, aunque si es conveniente señalar desde el punto de vista de la durabilidad de la obra de fábrica.

En las vigas artesa se localizaron eflorescencias y manchas de humedad en la zona de los mechinales, que solo tienen consideración desde el punto de vista de la durabilidad y la estética.

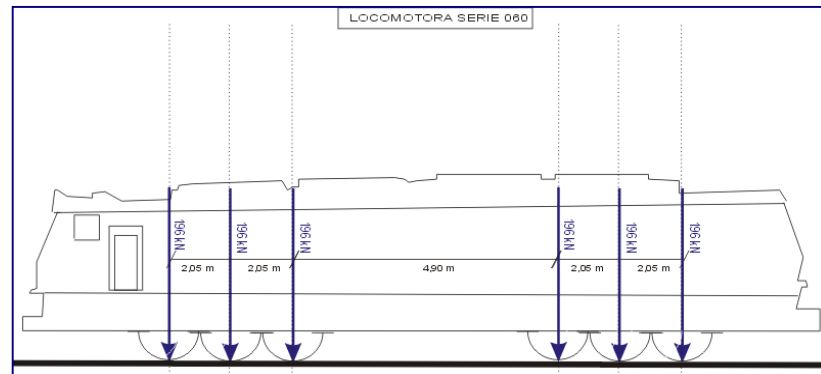
Desde el punto de vista de la accesibilidad a los distintos vanos de la estructura será necesario acondicionar un paso a través de la valla que delimita los terrenos de la línea 9 del metro (que salva la obra de fábrica) para acceder a los vanos 1 y 2, así como gestionar el corte de la citada línea con el fin de realizar la instrumentación necesaria de acuerdo a las indicaciones que se realizarán en este documento. Si bien, indicamos que para el acceso a los puntos de control, en condiciones de seguridad para los técnicos de instrumentación, donde se prevé instalar sensores de medida, será necesario emplear un camión – grúa dotado de cesta empujada, con un alcance de 10 a 20 metros. Igualmente, será preciso que se habilite un acceso en la valla de protección que existe a lo largo de la traza.

Tras la ejecución de los ensayos de prueba de carga deberá repetirse la inspección desde el punto de vista estructural, comprobando si se manifiesta algún tipo de patología, no apreciada en esta inspección previa u ocasionada por el nivel de sollicitación alcanzado, o evolución en los deterioros ya catalogados.

4. JUSTIFICACIÓN DE LA SOBRECARGA DE PRUEBA
--

4. JUSTIFICACIÓN DE LA SOBRECARGA DE PRUEBA

Para la ejecución del ensayo será necesario que se proporcionen, para la reproducción del estado de sollicitación previsto en el presente Proyecto de Prueba de Carga, **DOS (2) locomotoras de la serie 060** (dos bogies de tres ejes; peso total 1180 kN).



En el Anejo nº 3 se ha incluido un croquis en el que se definen las características geométricas y la distribución de pesos de las locomotoras descritas, así como un esquema referente al posicionamiento de las mismas sobre la estructura durante la realización de las pruebas.

La distribución de cargas se realizará de tal forma que se produzcan momentos flectores positivos que permitan alcanzar los porcentajes de sollicitación requeridos respecto a momentos de sobrecarga de cálculo en Proyecto, según la *"Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril"* de 1975 y los criterios que marcan las *"Recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción en puentes de carretera"* de 1998. Para el estado de carga definido se ha calculado el momento flector positivo en las secciones centrales de los vanos, comparándolos con los del proyecto de la estructura.

Con las disposiciones de carga recogidas en el Anejo nº 3 se han realizado los cálculos de la estructura (ver Anejo nº 1), obteniendo a partir del mismo los valores esperados para las medidas que se realizarán durante el ensayo.

Del cálculo de la estructura sometida al estado de carga definido para la prueba, se obtiene que la zona más sollicitada a momento flector positivo se encuentra en el centro del vano. Considerando solamente los momentos de sollicitación producidos por las sobrecargas de uso, se obtiene:

	Momento de sobrecarga en Proyecto (kN m)	Momento de sobrecarga en Prueba (kN m)	% alcanzado en prueba
Sección centro de vano	4.618	1.472	31,9

Si se consideran, además, los momentos flectores producidos por las cargas permanentes, se obtendrán:

	Mom. CP en Proyecto (kN m)	Mom. SC en Proyecto (kN m)	Mom. Total en Proyecto (kN m)	Mom. SC en Prueba (kN m)	Mom. Total en prueba (kN m)	% alcanzado en prueba
Sección centro de vano	3.777	4.618	8.395	1.472	5.249	62,5

5. MEDIDAS A REALIZAR

5. MEDIDAS A REALIZAR

Los puntos de la estructura que se instrumentarán durante la prueba, y en los que se efectuarán medidas, quedan reflejados en el croquis que se incluye en el Anejo nº 3 del presente documento.

5.1. CONTROL DE FLECHAS

Se tiene previsto el control de desplazamientos en los siguientes puntos:

Flecha en L/2	Descenso en apoyos
2 puntos / vano	2 puntos / vano

Para la medida de flechas de los vanos laterales se dispondrán transductores de desplazamiento tipo ménsula, basados en bandas extensométricas de 10 mm de longitud activa. Estos elementos, colocados normalmente sobre trípodes situados en el terreno bajo la estructura, se unen con el punto cuyo desplazamiento se desea medir mediante un hilo de acero.

La medida de desplazamientos del vano central se realizará mediante un dispositivo óptico láser.

Mediante estos dispositivos se realizan mediciones tanto durante las pruebas estáticas como en las dinámicas.

5.2. CONTROL DE DEFORMACIONES UNITARIAS

Se tiene previsto el control de deformaciones unitarias o tensiones en los siguientes puntos de la estructura:

Deformación unitaria en L/2
2 puntos / vano

Las deformaciones unitarias, se medirán mediante bandas extensométricas de 60 mm de longitud activa, que una vez pegadas sobre la superficie de hormigón de la cara inferior del tablero, previa preparación de la misma, se dejarán convenientemente protegidas.

Mediante estos dispositivos se realizan mediciones tanto durante las pruebas estáticas como en las dinámicas.

5.3. CONTROL DE ACELERACIONES

Con la finalidad de determinar la frecuencia propia de vibración de la estructura se instalará un acelerómetro en cada uno de los vanos de la estructura, para la medida de aceleraciones de vibración durante las pruebas dinámicas con frenado.

5.4. OTROS CONTROLES

Durante la realización de los ensayos de prueba de carga sobre la estructura, y para cada prueba, se procederá al registro de la humedad relativa y temperatura ambiente, al principio y al final de cada estado.

6. PLAN DE CARGA Y PROGRAMACIÓN DEL ENSAYO

6. PLAN DE CARGA Y PROGRAMACIÓN DEL ENSAYO

6.1. PRUEBAS ESTÁTICAS

Las medidas se realizarán de acuerdo con las siguientes fases:

- I. Toma de valores iniciales de las medidas.
- II. Situación de la primera locomotora dentro del vano a probar, con la posición indicada en el Croquis de Carga incluido en el Anejo nº 3 de este documento.
- III. Estabilización de las medidas. Se realizarán medidas continuas hasta comprobar que se ha alcanzado la estabilización de las lecturas.
- IV. Situación de la segunda locomotora, repitiendo para el mismo las fases II y III.
- V. Estabilización de las medidas. Cuando se encuentren posicionadas las locomotoras previstas, se realizarán medidas continuas hasta comprobar que se alcanza la estabilización de las lecturas. El tiempo de mantenimiento de las cargas no será inferior a 10 minutos.
- VI. Descarga de la estructura, haciendo circular las locomotoras hasta salir completamente del vano a probar.
- VII. Medidas de recuperación. Se realizarán medidas continuas con el puente descargado hasta alcanzar la estabilización de las lecturas, y una recuperación mínima del 85 % en un intervalo de tiempo no superior al de mantenimiento de la carga dentro del vano en la fase V.

En la estructura 03VI02, de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base Madrid Sur se realizarán un total de **TRES (3)** pruebas estáticas con el fin de alcanzar la sollicitación de momento flector positivo en todos los vanos de la estructura.

6.2. PRUEBAS DINÁMICAS

Se realizarán **CUATRO (4)** tipos de pruebas dinámicas sobre cada uno de los vanos de la estructura. Consistirán en los siguientes ensayos:

- ❑ Ensayo dinámico nº 1: Paso de la locomotora circulando sobre la estructura a una velocidad constante menor o igual a 5 Km/h (*ensayo cuasiestático*).
- ❑ Ensayo dinámico nº 2: Paso de la locomotora sobre la estructura circulando a una velocidad media constante (*ensayo a velocidad media*).
- ❑ Ensayo dinámico nº 3: Paso de la locomotora sobre la estructura circulando a la máxima velocidad constante que sea posible alcanzar, teniendo en cuenta las exigencias de seguridad de la obra (*ensayo a máxima velocidad*).
- ❑ Ensayo dinámico nº 4: Paso de la locomotora sobre la estructura circulando a la máxima velocidad constante que sea posible alcanzar, teniendo en cuenta las exigencias de seguridad de la obra, efectuando el frenado en la sección central de la estructura (*ensayo de frenado*).

7. PREVISIÓN DE RESULTADOS

7. PREVISIÓN DE RESULTADOS

En el Anejo nº 1 se incluyen los cálculos justificativos realizados para evaluar las flechas, deformaciones unitarias y frecuencias propias de vibración previstas durante la realización de la prueba de carga. Para el cálculo de la estructura se ha empleado un programa de estructuras basado en el método de los elementos finitos.

En el proceso de cálculo existen tres fases operativas: la introducción de datos (inputs) al programa, la resolución mediante un sistema de ecuaciones y la salida (outputs) y análisis de resultados.

La operación de cálculo comienza con la discretización geométrica de la estructura. Ello lleva consigo la definición de cada uno de los elementos estructurales en cuanto a dimensiones y características mecánicas. Al mismo tiempo, se requiere la localización de cada punto o nodo de la estructura discretizada en el espacio, eligiendo para ello unos ejes de coordenadas locales para cada uno de los elementos finitos definidos, con la finalidad de conocer las direcciones y sentidos de actuación de los esfuerzos sobre cada uno de ellos.

Una vez introducida en el programa la geometría de la estructura, se definen las cargas actuantes y condiciones de contorno, de modo que mediante la resolución de un sistema de ecuaciones de la forma de $\text{Carga} = \text{Rigidez} \times \text{Desplazamiento}$, se obtienen los movimientos en cada uno de los nodos discretizados de la estructura, y por retrosustitución se calculan los esfuerzos actuantes en los elementos definidos.

Estas operaciones son realizadas de forma automática por el programa de cálculo de estructuras por elementos finitos SAP90 (CSI, Inc., Berkeley). Es un programa desarrollado en FORTRAN y diseñado para ser usado en entorno operativo MS-DOS. Todas las operaciones numéricas son desarrolladas con la precisión de 64 bits y permite llevar a cabo un análisis de comportamiento no solo estático, sino también dinámico.

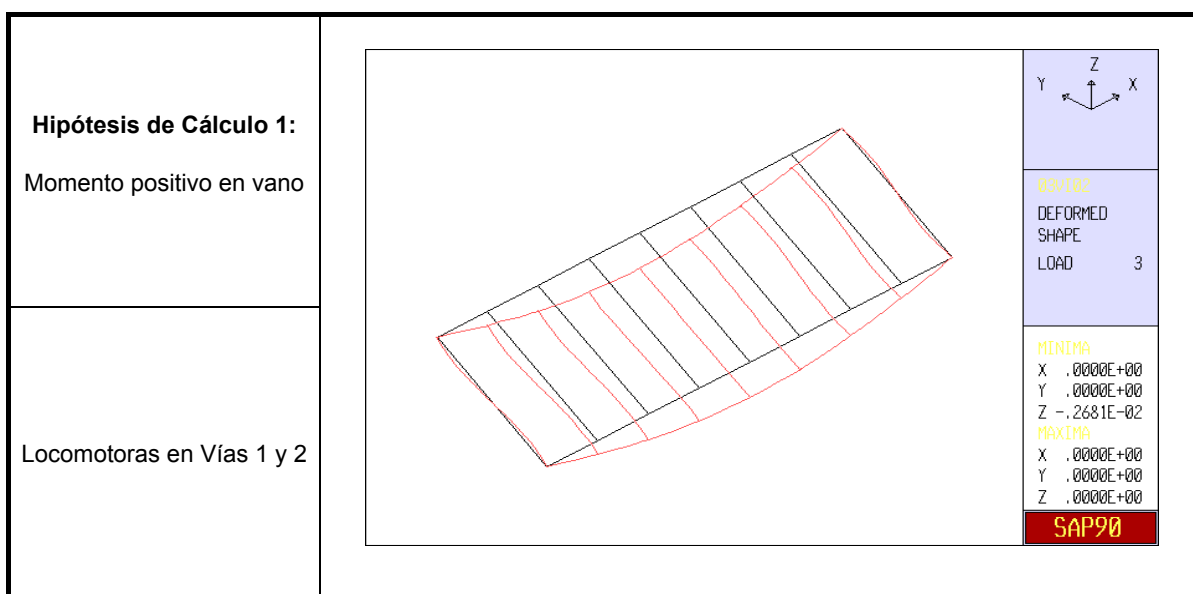
En nuestro caso, para la obtención de momentos de sollicitación, flechas, tensiones y periodos de vibración, se ha optado por discretizar la estructura mediante un modelo de emparrillado plano, formado a partir de elementos barra unidimensionales. En los cálculos se han empleado un módulo instantáneo de deformación de 39.791 N/mm^2 , de acuerdo a la información del Anejo de Cálculo del Proyecto de la estructura y a las consideraciones referidas en el Artículo 39.6 de la EHE-98 “Instrucción de Hormigón Estructural”. En el modelo se han considerado secciones resistentes no fisuradas.

En la salida impresa del cálculo mecanizado figuran las características geométricas y elásticas de la estructura discretizada, así como las acciones actuantes sobre los distintos nodos. El cálculo realizado presenta una primera parte de carácter estático para la obtención de los valores previstos en el estado de sollicitación a reproducir, y una segunda parte dinámica para la obtención de los coeficientes de impacto y las frecuencias propias de vibración de la estructura.

7.1. CÁLCULO DE FLECHAS Y DEFORMACIONES

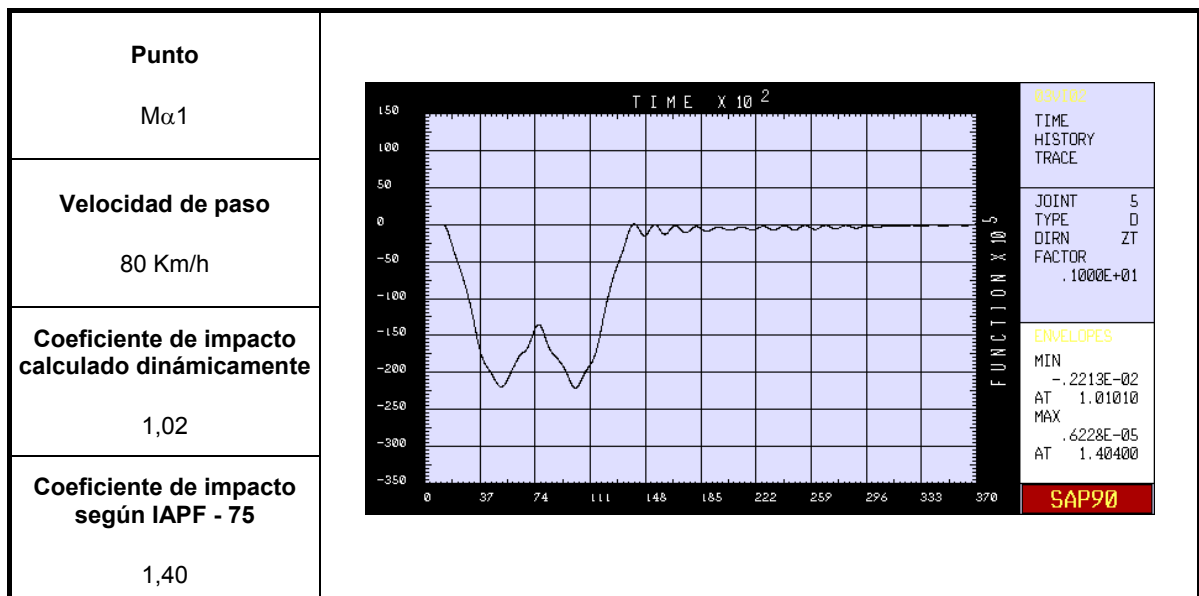
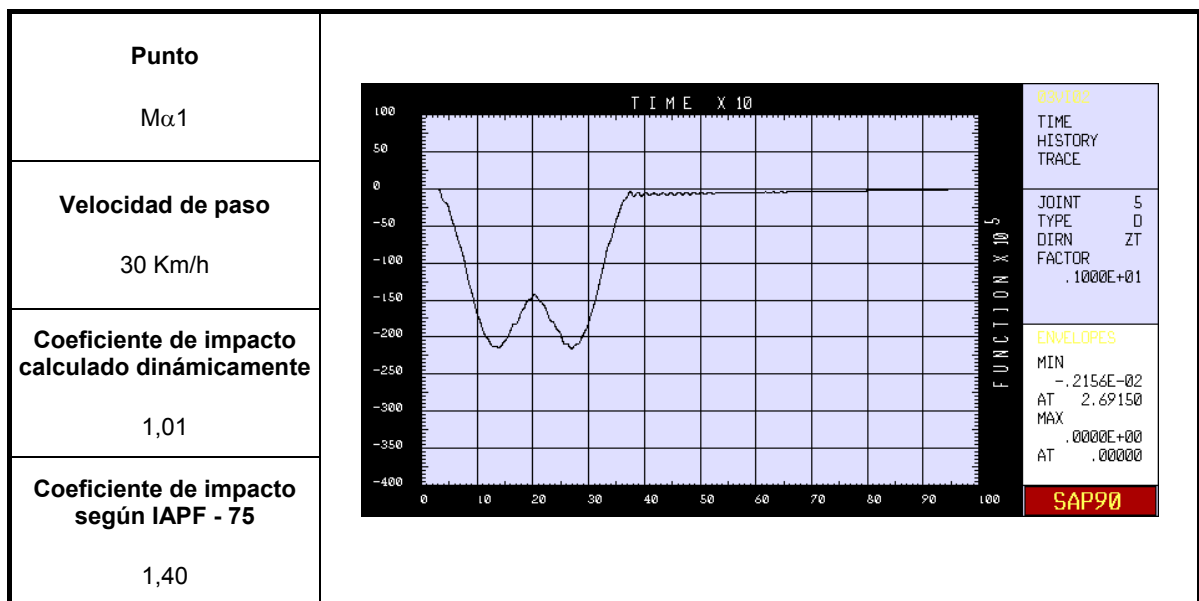
Los valores de flechas y deformaciones unitarias esperados para los puntos de medida establecidos en el Croquis de Instrumentación (ver Anejo nº 3), son los recogidos en la siguiente tabla (flechas negativas indican descenso y deformaciones unitarias positivas indican tracción):

Ensayo estático nº 1 – Momento flector positivo en sección central del vano (Hipótesis de cálculo I)		
Punto de medida	Flecha (mm)	Deformación unitaria ($\mu\epsilon$)
$M_{\alpha 1}$	-2,68	-
$M_{\alpha 2}$	-2,68	-
$G_{\alpha 1}$	-	96
$G_{\alpha 2}$	-	96



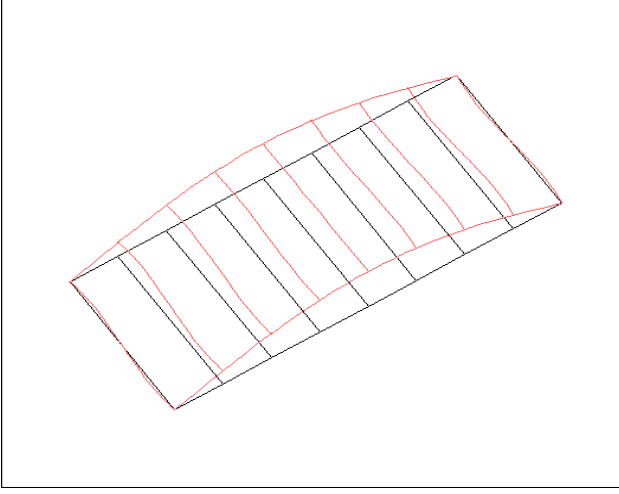
7.2. COEFICIENTES DE IMPACTO

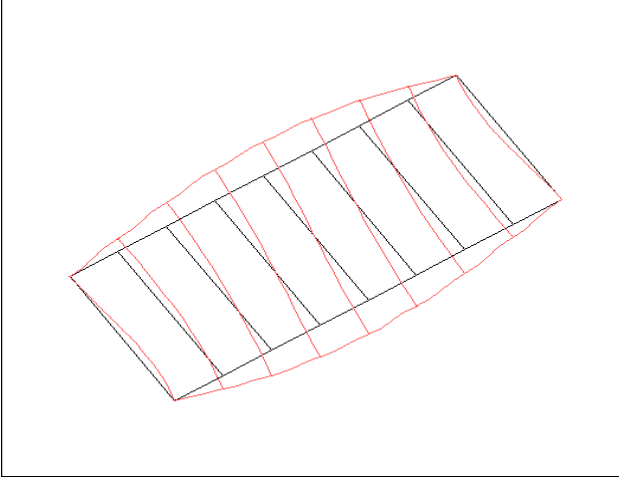
A continuación se incluyen los valores de los coeficientes de impacto de la estructura, calculados a partir de las flechas del punto M α 1 (sección de L/2) para el paso de la circulación a velocidad media (30 Km/h) y a velocidad máxima (80 Km/h), considerando un coeficiente de amortiguación del 2 %. A su vez, el valor teórico obtenido del cálculo anterior se compara con el calculado según la “Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril” de 1975.

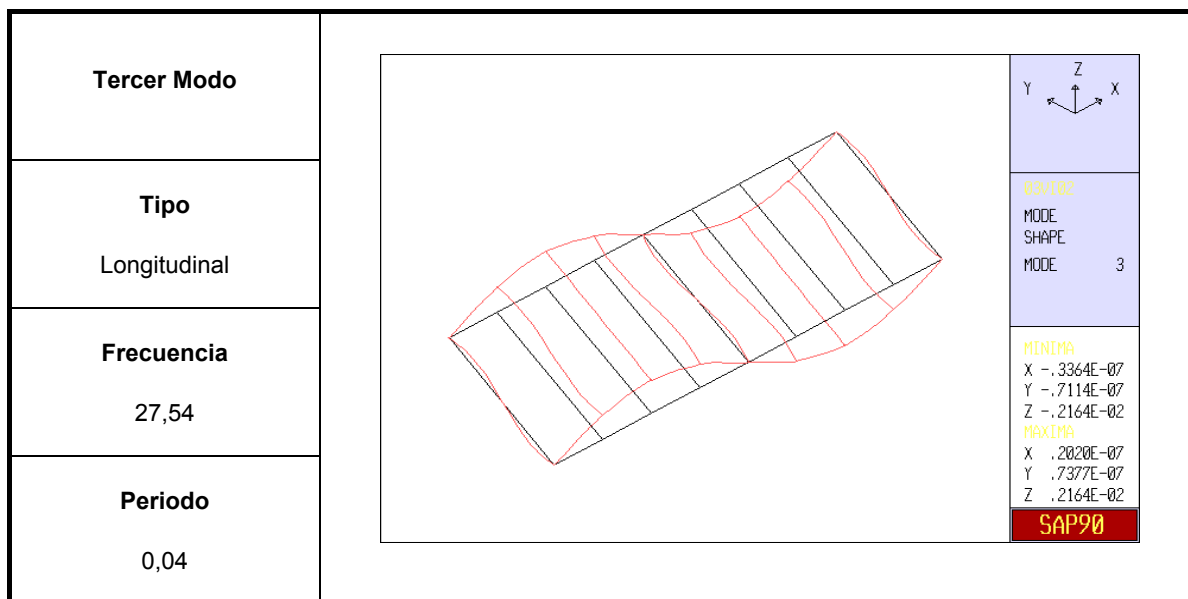


7.3. CÁLCULO DE FRECUENCIAS

El cálculo de las frecuencias de los tres primeros modos de vibración libre de la estructura, presenta los siguientes valores previstos:

Primer Modo		03VI02 MODE SHAPE MODE 1 MINIMA X .0000E+00 Y -.1578E-09 Z .0000E+00 MAXIMA X .1005E-09 Y .2230E-09 Z .2119E-02 SAP90
Tipo		
Longitudinal		
Frecuencia		
7,01		
Periodo		
0,14		

Segundo Modo		03VI02 MODE SHAPE MODE 2 MINIMA X -.5551E-09 Y -.7292E-09 Z -.2110E-02 MAXIMA X .1005E-09 Y .9505E-09 Z .2110E-02 SAP90
Tipo		
Transversal		
Frecuencia		
7,85		
Periodo		
0,13		



El presente documento consta de **VEINTIOCHO (28)** páginas numeradas y de **CUATRO (4)** Anejos sin paginar.

Madrid, Julio de 2002

Por la Oficina Técnica de IIC, S.A.



Fdo.: Andrés Vicente Zapata
Ingeniero de Obras Públicas



Fdo.: Juan Manuel García
Ingeniero de Caminos

Vº Bº Coordinador Técnico de Proyectos



Fdo.: Pablo Fernández Bea
Ingeniero de Caminos

Vº Bº Director Técnico Area de Construcción y Civil



Fdo.: Carlos Moreno Blanes
Ingeniero de Caminos

8. ANEJOS

8.1. ANEJO N° 1: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

**MODELO BIDIMENSIONAL PARA LA EVALUACIÓN DE FLECHAS, DEFORMACIONES
UNITARIAS, ESFUERZOS DE SOLICITACIÓN Y FRECUENCIAS PROPIAS DE VIBRACIÓN**

MATERIAL LONGITUDINAL TIPO I

1, CALCULO DE INERCIAS

1.1 DATOS DE CALCULO

fck losa = 30 N/mm²
fck viga = 55 N/mm²

Elosa = 46,600 N/mm²
Eviga = 63,000 N/mm²

Ancho losa, eficaz = 5.12 m

Ancho losa, calculo : 3.79 m

Comentarios

fcm,j: Resistencia media a compresión simple del hormigón a j días de edad, que se calcula según :

$$f_{cm} = f_{ck} + 8N / mm^2$$

Resistencia a compresión sobre probetas del mismo tipo					
Edad del hormigón, en días	3	7	28	90	360
Hormigones de endurecimiento normal (1)	0.4	0.65	1	1.2	1.35
Hormigones de endurecimiento rápido (1)	0.55	0.75	1	1.15	1.2

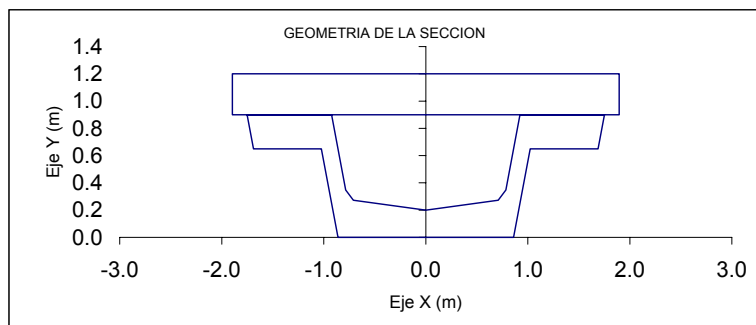
Ej: Módulo instantáneo de deformación longitudinal secante (pendiente de la secante), que se calcula según:

$$E_j = 8500 * \sqrt[3]{f_{cm,j}}$$

1.2.GEOMETRIA DE LA SECCION

a).CONTORNO EXTERIOR

orden	X (m)	Y (m)
1	0.000000	0.000000
2	0.860000	0.000000
3	1.023000	0.650000
4	1.688000	0.650000
5	1.751000	0.900000
6	0.923000	0.900000
7	0.785000	0.348000
8	0.710000	0.273000
9	0.000000	0.200000
10	-0.710000	0.273000
11	-0.785000	0.348000
12	-0.923000	0.900000
13	-1.751000	0.900000
14	-1.688000	0.650000
15	-1.023000	0.650000
16	-0.860000	0.000000
17	0.000000	0.000000



b).LOSA

orden	X metros	Y metros
1	0.000000	0.900000
2	1.895000	0.900000
3	1.895000	1.200000
4	-1.895000	1.200000
5	-1.895000	0.900000
6	0.000000	0.900000

Fórmulas empleadas

$$\text{area} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j * Y_{(j+1)} - x_{(j+1)} * y_j}{2}$$

$$\text{cdg}(x) = \frac{\sum_{j=1}^n [x_j * Y_{(j+1)} - x_{(j+1)} * y_j] * (y_j + Y_{(j+1)})}{6 * \text{area}}$$

$$\text{cdg}(Y) = \frac{\sum_{j=1}^n [x_j * Y_{(j+1)} - x_{(j+1)} * y_j] * (x_j + x_{(j+1)})}{6 * \text{area}}$$

$$\text{Inercia}(Y) = \frac{\sum_{j=1}^n [x_j * Y_{(j+1)} - x_{(j+1)} * y_j] * \left[\left(Y_j + Y_{(j+1)} \right)^2 - Y_j * Y_{(j+1)} \right]}{12} - \text{area} * \text{cdg}^2$$

$$\text{Inercia}(x) = \frac{\sum_{j=1}^n [x_j * Y_{(j+1)} - x_{(j+1)} * y_j] * \left[\left(x_j + x_{(j+1)} \right)^2 - x_j * x_{(j+1)} \right]}{12} - \text{area} * \text{cdg}^2$$

SECCION TOTAL

	Ai	cdg(x)	Ai*cdg(x)	cdg(y)	Ai*cdg(y)	I (x)	li(x) Steiner	I (y)	li(y) Steiner
VIGA	0.9769	0.44	0.433	0.00	0.000	0.0958	0.1998	0.9560	0.9560
LOSA	1.1370	1.05	1.194	0.00	0.000	0.0085	0.0979	1.3610	1.3610
A TOTAL=	2.1139	CDG(X)=	0.770	CDG(Y)=	0.000	Ix=	0.2977	Iy=	2.3170

C S I / S A P 9 0 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 1
PROGRAM:SAP90/FILE:03VI02.SAP
03VI02. LAV MADRID-BARCELONA-F.FRANCESA. BASE MADRID-SUR. UD: N-m

S Y S T E M D A T A

EXECUTION CODE	- - - - -	0
NUMBER OF LOAD CONDITIONS	- - - - -	4
STEADY STATE LOAD FREQUENCY	- - - - -	.0000E+00
NUMBER OF EIGENVALUES	- - - - -	5
EIGEN CONVERGENCE TOLERANCE	- - - - -	.1000E-03
EIGEN CUTOFF TIME PERIOD	- - - - -	.0000E+00

G E N E R A T E D J O I N T C O O R D I N A T E S

JOINT	X	Y	Z
1	.000	.000	.000
2	1.770	.000	.000
3	3.540	.000	.000
4	5.310	.000	.000
5	7.080	.000	.000
6	8.850	.000	.000
7	10.620	.000	.000
8	12.390	.000	.000
9	14.160	.000	.000
10	2.450	6.300	.000
11	4.220	6.300	.000
12	5.990	6.300	.000
13	7.760	6.300	.000
14	9.530	6.300	.000
15	11.300	6.300	.000
16	13.070	6.300	.000
17	14.840	6.300	.000
18	16.610	6.300	.000

R E S T R A I N T D A T A

JOINT	RX	RY	RZ	RXX	RYY	RZZ
1	1	1	1	0	0	0
9	1	1	1	0	0	0
10	1	1	1	0	0	0
18	1	1	1	0	0	0

F R A M E C O N T R O L D A T A

NUMBER OF MEMBER SECTION PROPERTIES 3
NUMBER OF SPAN LOADING PATTERNS 1

LOAD	GRAVITATIONAL MULTIPLIERS			TEMPERATURE	PRESTRESS
COND	X	Y	Z	MULTIPLIERS	MULTIPLIERS
1	.000	.000	-1.000	.000	.000
2	.000	.000	.000	.000	.000
3	.000	.000	.000	.000	.000
4	.000	.000	.000	.000	.000

S E C T I O N P R O P E R T Y D A T A

PROP	AREA	TORSIONAL	MOMENTS OF INERTIA		SHEAR AREAS	
ID		INERTIA	I33	I22	A2	A3
1	.211E+01	.66570E+00	.29770E+00	.23170E+01	.000E+00	.000E+00
2	.266E+00	.40000E-02	.17300E-01	.20000E-02	.000E+00	.000E+00
3	.531E+00	.80000E-02	.13860E+00	.40000E-02	.000E+00	.000E+00

M A T E R I A L P R O P E R T Y D A T A

PROP ID	MODULUS OF ELASTICITY	SHEAR MODULUS	WEIGHT PER UNIT LEN	MASS PER UNIT LEN	THERMAL EXPANSION
1	.3979E+11	.1530E+11	.1544E+06	.1574E+05	.0000E+00
2	.3362E+11	.1293E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
3	.3362E+11	.1293E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00

S P A N L O A D I N G D A T A

UNIFORM LOAD DATA

PATTERN	1-DIR	2-DIR	3-DIR	X-DIR	Y-DIR	Z-DIR
ID						
1	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	*****

F R A M E E L E M E N T D A T A

ELT ID	JOINT END-I	JOINT END-J	LOCAL-AXIS N1 N2		PROPERTY-ID END-I END-J		VAR	REL CODES	REF TEMP	ELEMENT LENGTH
1	1	2	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
2	2	3	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
3	3	4	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
4	4	5	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
5	5	6	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
6	6	7	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
7	7	8	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
8	8	9	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
9	10	11	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
10	11	12	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
11	12	13	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
12	13	14	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
13	14	15	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
14	15	16	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
15	16	17	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
16	17	18	-2	0	1	1	0	000000	.00	1.77
17	1	10	1	0	2	2	0	000000	.00	6.76
25	9	18	1	0	2	2	0	000000	.00	6.76
18	2	11	1	0	3	3	0	000000	.00	6.76
19	3	12	1	0	3	3	0	000000	.00	6.76
20	4	13	1	0	3	3	0	000000	.00	6.76
21	5	14	1	0	3	3	0	000000	.00	6.76
22	6	15	1	0	3	3	0	000000	.00	6.76
23	7	16	1	0	3	3	0	000000	.00	6.76
24	8	17	1	0	3	3	0	000000	.00	6.76

F R A M E E L E M E N T D A T A

ELT	MASTER-JOINTS		RIGID-OFFSETS		REDUCTION
ID	END-I	END-J	END-I	END-J	FACTOR
17	0	0	1.75	1.75	.00
25	0	0	1.75	1.75	.00
18	0	0	1.75	1.75	.00
19	0	0	1.75	1.75	.00
20	0	0	1.75	1.75	.00
21	0	0	1.75	1.75	.00
22	0	0	1.75	1.75	.00
23	0	0	1.75	1.75	.00
24	0	0	1.75	1.75	.00

B E A M S P A N L O A D I N G P A T T E R N S

ELT ID	LOAD 1	LOAD 2	LOAD 3	LOAD 4
1	0	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	0	0
5	0	1	0	0
6	0	1	0	0
7	0	1	0	0
8	0	1	0	0
9	0	1	0	0
10	0	1	0	0
11	0	1	0	0
12	0	1	0	0
13	0	1	0	0
14	0	1	0	0
15	0	1	0	0
16	0	1	0	0

T O T A L W E I G H T S A N D M A S S E S

PROP	WEIGHT	MASS
1	4371560.1600	445615.2000
2	.0000	.0000
3	.0000	.0000
TOTAL	4371560.1600	445615.2000

J O I N T L O A D S

JOINT	LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	3	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
2	3	.000E+00	.000E+00	-.143E+06	.000E+00	.000E+00	.000E+00
3	3	.000E+00	.000E+00	-.143E+06	.000E+00	.000E+00	.000E+00
4	3	.000E+00	.000E+00	-.104E+06	.000E+00	.000E+00	.000E+00
5	3	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
6	3	.000E+00	.000E+00	-.104E+06	.000E+00	.000E+00	.000E+00
7	3	.000E+00	.000E+00	-.143E+06	.000E+00	.000E+00	.000E+00
8	3	.000E+00	.000E+00	-.143E+06	.000E+00	.000E+00	.000E+00
10	3	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
11	3	.000E+00	.000E+00	-.230E+05	.000E+00	.000E+00	.000E+00
12	3	.000E+00	.000E+00	-.230E+05	.000E+00	.000E+00	.000E+00
13	3	.000E+00	.000E+00	-.170E+05	.000E+00	.000E+00	.000E+00
14	3	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
15	3	.000E+00	.000E+00	-.170E+05	.000E+00	.000E+00	.000E+00
16	3	.000E+00	.000E+00	-.230E+05	.000E+00	.000E+00	.000E+00
17	3	.000E+00	.000E+00	-.230E+05	.000E+00	.000E+00	.000E+00
18	3	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
10	4	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
11	4	.000E+00	.000E+00	-.143E+06	.000E+00	.000E+00	.000E+00
12	4	.000E+00	.000E+00	-.143E+06	.000E+00	.000E+00	.000E+00
13	4	.000E+00	.000E+00	-.104E+06	.000E+00	.000E+00	.000E+00
14	4	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
15	4	.000E+00	.000E+00	-.104E+06	.000E+00	.000E+00	.000E+00
16	4	.000E+00	.000E+00	-.143E+06	.000E+00	.000E+00	.000E+00
17	4	.000E+00	.000E+00	-.143E+06	.000E+00	.000E+00	.000E+00
18	4	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
2	4	.000E+00	.000E+00	-.230E+05	.000E+00	.000E+00	.000E+00
3	4	.000E+00	.000E+00	-.230E+05	.000E+00	.000E+00	.000E+00
4	4	.000E+00	.000E+00	-.170E+05	.000E+00	.000E+00	.000E+00
5	4	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
6	4	.000E+00	.000E+00	-.170E+05	.000E+00	.000E+00	.000E+00
7	4	.000E+00	.000E+00	-.230E+05	.000E+00	.000E+00	.000E+00
8	4	.000E+00	.000E+00	-.230E+05	.000E+00	.000E+00	.000E+00
9	4	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00

T I M E H I S T O R Y D A T A

TRANSIENT LOADING

TOTAL NUMBER OF TIME INCREMENTS	=	3000
TIME INCREMENT FOR OUTPUT OF RESULTS	=	.001
TOTAL TIME SPAN FOR DYNAMIC ANALYSIS	=	3.900
NUMBER OF MODES USED IN ANALYSIS	=	5
NUMBER OF FUNCTIONS	=	1
DAMPING RATIO USED FOR ALL MODES	=	.020

F U N C T I O N D A T A

FUNCTION NUMBER	=	1
TIME INCREMENT	=	.022
FUNCTION PRINTING FLAG	=	OFF

L O A D F U N C T I O N A S S I G N M E N T D A T A

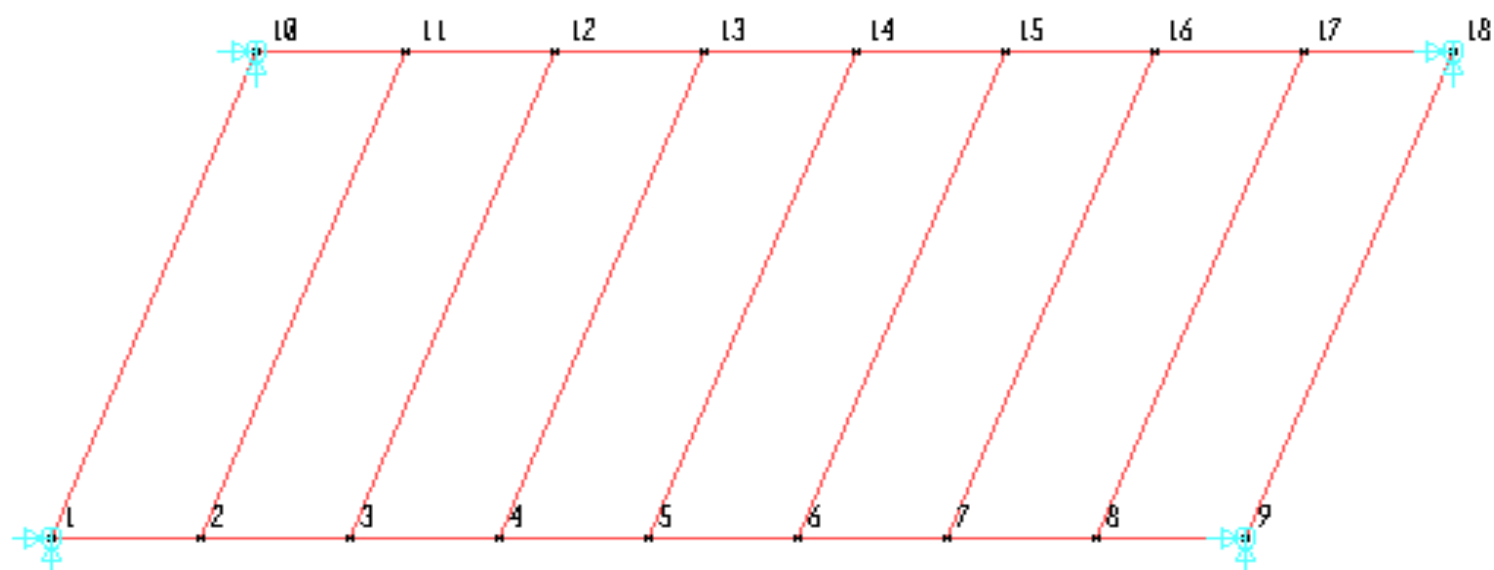
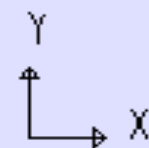
LOAD CONDITION	FUNCTION NUMBER	SCALE FACTOR	ARRIVAL TIME	ANGLE (deg)
3	1	1.000	.000	.000

L O A D C O N D I T I O N C O M B I N A T I O N M U L T I P L I E R S

COMBINATION	CONDITION	FACTOR
1		
	1	1.000
2		
	2	1.000
3		
	3	1.000
	4	1.000

O U T P U T F I L E S C R E A T E D B Y P R O G R A M

INPUT DATA ECHO	03VI02.SAP
SOLUTION ERRORS AND WARNINGS	03VI02.ERR
EQUATION NUMBERING	03VI02.EQN
FREQUENCIES	03VI02.EIG
DISPLACEMENTS AND REACTIONS	03VI02.SOL
FRAME ELEMENT FORCES	03VI02.F3F



03VI02

UNDEFORMED
SHAPE

OPTIONS

JOINT IDS
ALL JOINTS
RESTRAINTS
WIRE FRAME

SAP90



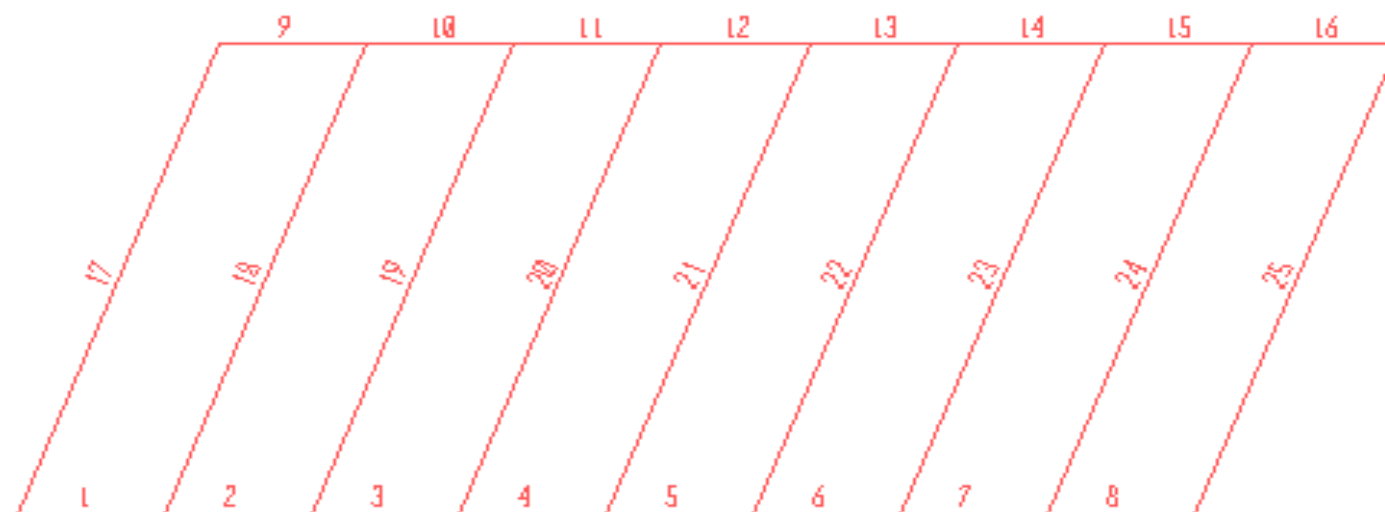
03VI02

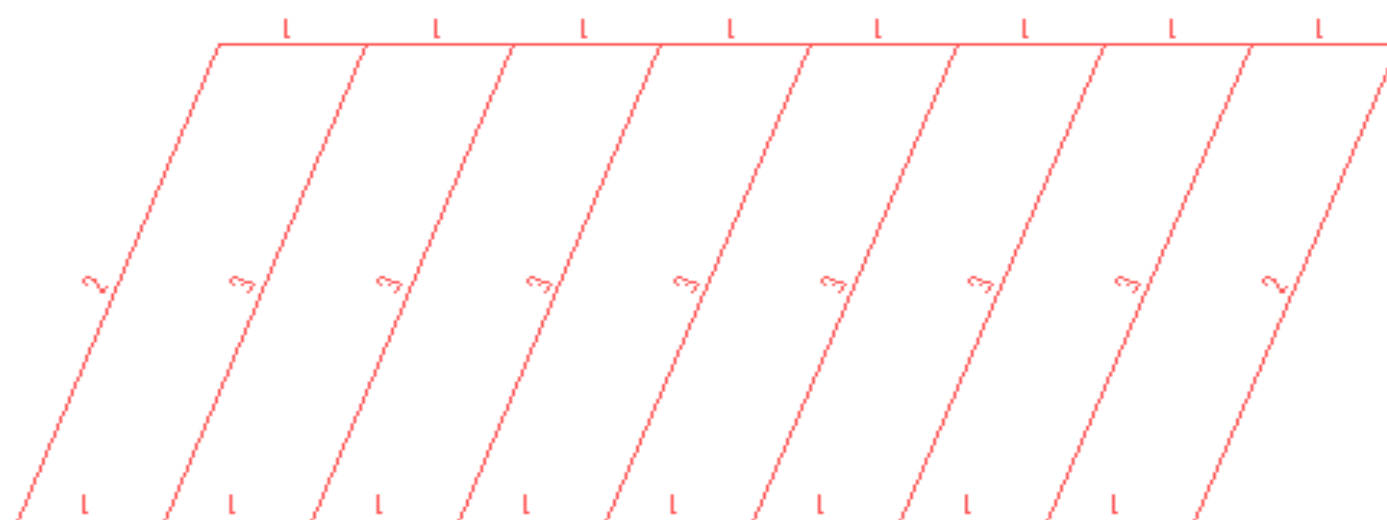
UNDEFORMED
SHAPE

OPTIONS

ELEMENT IDS
WIRE FRAME

SAP90





03VI02

UNDEFORMED
SHAPE

OPTIONS

PROPERTY IDS
WIRE FRAME

SAP90

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT ID	LOAD COMB	DIST ENDI	1-2 SHEAR	PLANE MOMENT	AXIAL FORCE	1-3 SHEAR	PLANE MOMENT	AXIAL TORQ
1	-----							
	1	.00			.00			-131702.31
		.00	1007855.95	-50700.45				
		1.77	734633.44	1491402.66				
		1.77			.00			-131702.31
	2	.00			.00			-151639.02
		.00	1160422.11	-58375.33				
		1.77	845840.01	1717166.64				
		1.77			.00			-151639.02
	3	.00			.00			-56710.48
		.00	417432.39	-21839.84				
		1.77	417432.39	717015.48				
		1.77			.00			-56710.48
2	-----							
	1	.00			.00			-356021.59
		.00	805968.80	1404859.73				
		1.77	532746.29	2589622.58				
		1.77			.00			-356021.59
	2	.00			.00			-409915.03
		.00	927973.89	1617523.11				
		1.77	613391.79	2981631.75				
		1.77			.00			-409915.03
	3	.00			.00			-152532.14
		.00	281902.63	680036.97				
		1.77	281902.63	1179004.62				
		1.77			.00			-152532.14
3	-----							
	1	.00			.00			-514286.38
		.00	582980.75	2528029.05				
		1.77	309758.24	3318103.06				
		1.77			.00			-514286.38
	2	.00			.00			-592137.50
		.00	671230.60	2910714.37				
		1.77	356648.50	3820387.37				
		1.77			.00			-592137.50
	3	.00			.00			-217237.67
		.00	136440.30	1153820.47				
		1.77	136440.30	1395319.80				
		1.77			.00			-217237.67
4	-----							
	1	.00			.00			-595506.75

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT LOAD	DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE		AXIAL
ID COMB	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR	MOMENT	TORQ
	.00	335419.60	3285825.00				
	1.77	62197.09	3637715.78				
	1.77			.00			-595506.75
2	.00			.00			-685652.75
	.00	386194.40	3783223.16				
	1.77	71612.30	4188382.09				
	1.77			.00			-685652.75
3	.00			.00			-248218.11
	.00	25224.69	1382986.39				
	1.77	25224.69	1427634.08				
	1.77			.00			-248218.11
5	-----						
1	.00			.00			-596033.13
	.00	62197.09	3636569.07				
	.40	-.55	3649099.53				
	1.77	-211025.42	3504856.01				
	1.77			.00			-596033.13
2	.00			.00			-686258.81
	.00	71612.30	4187061.80				
	.40	-.63	4201489.08				
	1.77	-242969.80	4035410.42				
	1.77			.00			-686258.81
3	.00			.00			-248434.17
	.00	25224.69	1427163.36				
	1.77	25224.69	1471811.06				
	1.77			.00			-248434.17
6	-----						
1	.00			.00			-515586.97
	.00	-236686.78	3535448.29				
	1.77	-509909.29	2874710.77				
	1.77			.00			-515586.97
2	.00			.00			-593634.94
	.00	-272515.70	4070633.66				
	1.77	-587097.80	3309875.71				
	1.77			.00			-593634.94
3	.00			.00			-217772.95
	.00	-105559.70	1483449.41				
	1.77	-105559.70	1296608.73				
	1.77			.00			-217772.95
7	-----						
1	.00			.00			-357374.63
	.00	-560143.75	2936191.67				

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT LOAD	DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE		AXIAL
ID COMB	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR	MOMENT	TORQ
	1.77	-833366.26	1702935.31				
	1.77			.00			-357374.63
2	.00			.00			-411472.91
	.00	-644936.61	3380663.41				
	1.77	-959518.71	1960720.46				
	1.77			.00			-411472.91
3	.00			.00			-153091.17
	.00	-292097.37	1321741.87				
	1.77	-292097.37	804729.52				
	1.77			.00			-153091.17
8	-----						
1	.00			.00			-132281.14
	.00	-904701.62	1791164.01				
	1.77	-1177924.13	-51959.78				
	1.77			.00			-132281.14
2	.00			.00			-152305.45
	.00	-1041652.59	2062304.95				
	1.77	-1356234.69	-59825.30				
	1.77			.00			-152305.45
3	.00			.00			-56950.30
	.00	-488567.61	842403.10				
	1.77	-488567.61	-22361.58				
	1.77			.00			-56950.30
9	-----						
1	.00			.00			-132281.14
	.00	1177924.13	-51959.78				
	1.77	904701.62	1791164.01				
	1.77			.00			-132281.14
2	.00			.00			-152305.45
	.00	1356234.69	-59825.30				
	1.77	1041652.59	2062304.95				
	1.77			.00			-152305.45
3	.00			.00			-56950.30
	.00	488567.61	-22361.58				
	1.77	488567.61	842403.10				
	1.77			.00			-56950.30
10	-----						
1	.00			.00			-357374.63
	.00	833366.26	1702935.31				
	1.77	560143.75	2936191.67				
	1.77			.00			-357374.63

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT	LOAD	DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE		AXIAL
ID	COMB	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR	MOMENT	TORQ
11	2	.00			.00			-411472.91
		.00	959518.71	1960720.46				
		1.77	644936.61	3380663.41				
		1.77			.00		-411472.91	
	3	.00			.00			-153091.17
		.00	292097.37	804729.52				
		1.77	292097.37	1321741.87				
		1.77			.00		-153091.17	
	1	.00			.00			-515586.97
		.00	509909.29	2874710.77				
		1.77	236686.78	3535448.29				
		1.77			.00		-515586.97	
2	.00			.00			-593634.94	
	.00	587097.80	3309875.71					
	1.77	272515.70	4070633.66					
	1.77			.00		-593634.94		
3	.00			.00			-217772.95	
	.00	105559.70	1296608.73					
	1.77	105559.70	1483449.41					
	1.77			.00		-217772.95		
12	1	.00			.00			-596033.13
		.00	211025.42	3504856.01				
		1.37	-.55	3649099.53				
		1.77	-62197.09	3636569.07				
	2	.00			.00			-596033.13
		.00						
		1.37						
		1.77			.00		-686258.81	
	3	.00			.00			-686258.81
		.00	242969.80	4035410.42				
		1.37	-.63	4201489.08				
		1.77	-71612.30	4187061.80				
1	.00			.00			-248434.17	
	.00	-25224.69	1471811.06					
	1.77	-25224.69	1427163.36					
	1.77			.00		-248434.17		
13	1	.00			.00			-595506.75
		.00	-62197.09	3637715.78				
		1.77	-335419.60	3285825.00				
		1.77			.00		-595506.75	

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT	LOAD	DIST	1-2	PLANE	AXIAL	1-3	PLANE	AXIAL
ID	COMB	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR	MOMENT	TORQ
14	2	.00			.00			-685652.75
		.00	-71612.30	4188382.09				
		1.77	-386194.40	3783223.16				
		1.77			.00		-685652.75	
	3	.00			.00			-248218.11
		.00	-25224.69	1427634.08				
		1.77	-25224.69	1382986.39				
		1.77			.00		-248218.11	

	1	.00			.00			-514286.38
		.00	-309758.24	3318103.06				
		1.77	-582980.75	2528029.05				
1.77				.00		-514286.38		
2	.00			.00			-592137.50	
	.00	-356648.50	3820387.37					
	1.77	-671230.60	2910714.37					
	1.77			.00		-592137.50		
3	.00			.00			-217237.67	
	.00	-136440.30	1395319.80					
	1.77	-136440.30	1153820.47					
	1.77			.00		-217237.67		

15	1	.00			.00			-356021.59
		.00	-532746.29	2589622.58				
		1.77	-805968.80	1404859.73				
		1.77			.00		-356021.59	
	2	.00			.00			-409915.03
		.00	-613391.79	2981631.75				
		1.77	-927973.89	1617523.11				
		1.77			.00		-409915.03	
	3	.00			.00			-152532.14
		.00	-281902.63	1179004.62				
		1.77	-281902.63	680036.97				
		1.77			.00		-152532.14	

16	1	.00			.00			-131702.31
		.00	-734633.44	1491402.66				
		1.77	-1007855.95	-50700.45				
		1.77			.00		-131702.31	
	2	.00			.00			-151639.02
		.00	-845840.01	1717166.64				

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT	LOAD	DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE		AXIAL
ID	COMB	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR	MOMENT	TORQ
		1.77	-1160422.11	-58375.33				
		1.77			.00			-151639.02
	3	.00			.00			-56710.48
		.00	-417432.39	717015.48				
		1.77	-417432.39	-21839.84				
		1.77			.00			-56710.48
17								
	1	.00			.00			481.96
		1.75	.00	.00	-41902.14	67794.63		
		5.01	.00	.00	-41902.14	-68790.53		
		6.76			.00			481.96
	2	.00			.00			554.91
		1.75	.00	.00	-48245.15	78057.17		
		5.01	.00	.00	-48245.15	-79203.83		
		6.76			.00			554.91
	3	.00			.00			199.67
		1.75	.00	.00	-18041.39	29197.76		
		5.01	.00	.00	-18041.39	-29610.38		
		6.76			.00			199.67
25								
	1	.00			.00			481.96
		1.75	.00	.00	41902.14	-68790.53		
		5.01	.00	.00	41902.14	67794.63		
		6.76			.00			481.96
	2	.00			.00			554.91
		1.75	.00	.00	48245.15	-79203.83		
		5.01	.00	.00	48245.15	78057.17		
		6.76			.00			554.91
	3	.00			.00			199.67
		1.75	.00	.00	18041.39	-29610.38		
		5.01	.00	.00	18041.39	29197.76		
		6.76			.00			199.67
18								
	1	.00			.00			645.27
		1.75	.00	.00	-71335.36	115596.89		
		5.01	.00	.00	-71335.36	-116929.47		
		6.76			.00			645.27
	2	.00			.00			742.95
		1.75	.00	.00	-82133.89	133095.59		
		5.01	.00	.00	-82133.89	-134629.89		
		6.76			.00			742.95

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT	LOAD	DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE		AXIAL
ID	COMB	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR	MOMENT	TORQ
	3	.00			.00			266.05
		1.75	.00	.00	-30470.24	49386.03		
		5.01	.00	.00	-30470.24	-49935.47		
		6.76			.00			266.05
19	-----							
	1	.00			.00			-42.98
		1.75	.00	.00	-50234.47	81917.56		
		5.01	.00	.00	-50234.47	-81827.85		
		6.76			.00			-42.98
	2	.00			.00			-49.49
		1.75	.00	.00	-57838.81	94317.99		
		5.01	.00	.00	-57838.81	-94214.70		
		6.76			.00			-49.49
	3	.00			.00			-19.47
		1.75	.00	.00	-20537.67	33492.84		
		5.01	.00	.00	-20537.67	-33452.21		
		6.76			.00			-19.47
20	-----							
	1	.00			.00			-645.27
		1.75	.00	.00	-25661.36	42489.47		
		5.01	.00	.00	-25661.36	-41156.89		
		6.76			.00			-645.27
	2	.00			.00			-742.95
		1.75	.00	.00	-29545.90	48921.40		
		5.01	.00	.00	-29545.90	-47387.09		
		6.76			.00			-742.95
	3	.00			.00			-266.05
		1.75	.00	.00	-9784.39	16221.43		
		5.01	.00	.00	-9784.39	-15672.00		
		6.76			.00			-266.05
21	-----							
	1	.00			.00			-877.96
		1.75	.00	.00		.00	906.19	
		5.01	.00	.00		.00	906.19	
		6.76			.00			-877.96
	2	.00			.00			-1010.86
		1.75	.00	.00		.00	1043.37	
		5.01	.00	.00		.00	1043.37	
		6.76			.00			-1010.86
	3	.00			.00			-360.41
		1.75	.00	.00		.00	371.98	

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT	LOAD	DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE		AXIAL
ID	COMB	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR	MOMENT	TORQ
		5.01	.00	.00		.00	371.98	
		6.76			.00			-360.41
22								
	1	.00			.00			-645.27
		1.75	.00	.00	25661.36	-41156.89		
		5.01	.00	.00	25661.36	42489.47		
		6.76			.00			-645.27
	2	.00			.00			-742.95
		1.75	.00	.00	29545.90	-47387.09		
		5.01	.00	.00	29545.90	48921.40		
		6.76			.00			-742.95
	3	.00			.00			-266.05
		1.75	.00	.00	9784.39	-15672.00		
		5.01	.00	.00	9784.39	16221.43		
		6.76			.00			-266.05
23								
	1	.00			.00			-42.98
		1.75	.00	.00	50234.47	-81827.85		
		5.01	.00	.00	50234.47	81917.56		
		6.76			.00			-42.98
	2	.00			.00			-49.49
		1.75	.00	.00	57838.81	-94214.70		
		5.01	.00	.00	57838.81	94317.99		
		6.76			.00			-49.49
	3	.00			.00			-19.47
		1.75	.00	.00	20537.67	-33452.21		
		5.01	.00	.00	20537.67	33492.84		
		6.76			.00			-19.47
24								
	1	.00			.00			645.27
		1.75	.00	.00	71335.36	-116929.47		
		5.01	.00	.00	71335.36	115596.89		
		6.76			.00			645.27
	2	.00			.00			742.95
		1.75	.00	.00	82133.89	-134629.89		
		5.01	.00	.00	82133.89	133095.59		
		6.76			.00			742.95
	3	.00			.00			266.05
		1.75	.00	.00	30470.24	-49935.47		
		5.01	.00	.00	30470.24	49386.03		
		6.76			.00			266.05

M O D E S H A P E S

MODE SHAPE NUMBER 1 PERIOD = .142665 SECONDS

DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.9084E-04	-.4574E-03	.9535E-10
2	.4417E-10	.1525E-09	.7916E-03	-.8350E-04	-.4257E-03	.6608E-10
3	.000000	.000000	.001472	-.000063	-.000333	.000000
4	.000000	.000000	.001939	-.000034	-.000188	.000000
5	.000000	.000000	.002119	.000000	-.000011	.000000
6	.000000	.000000	.001975	.000034	.000172	.000000
7	.000000	.000000	.001524	.000063	.000332	.000000
8	.4215E-10	-.1195E-09	.8293E-03	.8358E-04	.4418E-03	.4942E-10
9	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.9096E-04	.4813E-03	.7596E-10
10	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.9096E-04	-.4813E-03	-.2528E-10
11	.9694E-11	-.4381E-10	.8293E-03	-.8358E-04	-.4418E-03	-.2502E-10
12	.000000	.000000	.001524	-.000063	-.000332	.000000
13	.000000	.000000	.001975	-.000034	-.000172	.000000
14	.000000	.000000	.002119	.000000	.000011	.000000
15	.000000	.000000	.001939	.000034	.000188	.000000
16	.000000	.000000	.001472	.000063	.000333	.000000
17	.9946E-11	.4206E-10	.7916E-03	.8350E-04	.4257E-03	-.1669E-10
18	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.9084E-04	.4574E-03	-.2775E-10

M O D E S H A P E S

MODE SHAPE NUMBER 2 PERIOD = .127421 SECONDS

DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.3624E-03	.5003E-03	.5267E-10
2	-.1849E-09	.6849E-10	-.8540E-03	.3894E-03	.4508E-03	.1322E-11
3	.000000	.000000	-.001551	.000434	.000326	.000000
4	.000000	.000000	-.001986	.000469	.000160	.000000
5	.000000	.000000	-.002110	.000481	-.000021	.000000
6	.000000	.000000	-.001921	.000463	-.000191	.000000
7	.000000	.000000	-.001455	.000421	-.000330	.000000
8	-.1643E-09	-.4900E-09	-.7827E-03	.3734E-03	-.4205E-03	.2056E-09
9	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.3451E-03	-.4504E-03	.3071E-09
10	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.3451E-03	-.4504E-03	.4008E-09
11	-.6279E-10	.6425E-09	.7827E-03	.3734E-03	-.4205E-03	.2769E-09
12	.000000	.000000	.001455	.000421	-.000330	.000000
13	.000000	.000000	.001921	.000463	-.000191	.000000
14	.000000	.000000	.002110	.000481	-.000021	.000000
15	.000000	.000000	.001986	.000469	.000160	.000000
16	.000000	.000000	.001551	.000434	.000326	.000000
17	.3345E-10	-.2501E-09	.8540E-03	.3894E-03	.4508E-03	.7785E-10
18	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.3624E-03	.5003E-03	.1679E-09

M O D E S H A P E S

MODE SHAPE NUMBER 3 PERIOD = .036310 SECONDS

DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.6854E-04	-.9129E-03	.1560E-07
2	.000000	.000000	.001462	-.000045	-.000648	.000000
3	.000000	.000000	.002072	.000011	-.000001	.000000
4	.000000	.000000	.001460	.000066	.000656	.000000
5	-.3364E-07	-.1976E-07	-.3048E-04	.8928E-04	.9363E-03	-.2440E-07
6	.000000	.000000	-.001535	.000066	.000668	.000000
7	.000000	.000000	-.002164	.000011	.000001	.000000
8	.000000	.000000	-.001533	-.000045	-.000676	.000000
9	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.6899E-04	-.9591E-03	.2960E-07
10	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.6899E-04	-.9592E-03	.3582E-07
11	.000000	.000000	.001533	-.000045	-.000676	.000000
12	.000000	.000000	.002164	.000011	.000001	.000000
13	.000000	.000000	.001535	.000066	.000668	.000000
14	.2020E-07	.1940E-07	.3048E-04	.8928E-04	.9363E-03	-.2197E-07
15	.000000	.000000	-.001460	.000066	.000656	.000000
16	.000000	.000000	-.002072	.000011	-.000001	.000000
17	.000000	.000000	-.001462	-.000045	-.000648	.000000
18	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.6854E-04	-.9129E-03	.1957E-07

M O D E S H A P E S

MODE SHAPE NUMBER 4 PERIOD = .035403 SECONDS

DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.2370E-03	-.9631E-03	.1402E-06
2	.000000	.000000	.001532	-.000254	-.000672	.000000
3	.000000	.000000	.002152	-.000231	.000011	.000000
4	.000000	.000000	.001511	-.000139	.000675	.000000
5	.2775E-06	.9472E-07	.3512E-05	.4763E-05	.9363E-03	-.4044E-07
6	.000000	.000000	-.001482	.000145	.000650	.000000
7	.000000	.000000	-.002084	.000231	-.000009	.000000
8	.000000	.000000	-.001467	.000247	-.000654	.000000
9	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.2275E-03	-.9139E-03	.4762E-07
10	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.2275E-03	.9138E-03	-.1612E-06
11	.000000	-.000000	-.001466	-.000247	.000654	.000000
12	.000000	-.000000	-.002084	-.000231	.000009	.000000
13	-.000000	-.000000	-.001482	-.000145	-.000650	.000000
14	-.2080E-06	-.8881E-07	.3552E-05	-.4769E-05	-.9365E-03	.9683E-07
15	-.000000	.000000	.001511	.000139	-.000675	.000000
16	.000000	.000000	.002152	.000231	-.000011	.000000
17	.000000	.000000	.001532	.000254	.000672	.000000
18	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.2370E-03	.9629E-03	-.1035E-06

M O D E S H A P E S

MODE SHAPE NUMBER 5 PERIOD = .026146 SECONDS

DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.2098E-09	.9281E-07	.4381E-03
2	.1019E-03	.7432E-03	-.1125E-06	-.5962E-08	.4248E-08	.3614E-03
3	.000119	.001364	.000000	.000000	.000000	.000300
4	.000076	.001837	.000000	.000000	.000000	.000203
5	.000000	.002082	.000000	.000000	.000000	.000060
6	-.000075	.002031	-.000000	.000000	.000000	-.000113
7	-.000119	.001652	.000000	.000000	-.000000	-.000292
8	-.1016E-03	.9581E-03	.1962E-06	-.2723E-08	-.2089E-07	-.4503E-03
9	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.6039E-09	.1764E-06	-.5755E-03
10	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.3230E-10	.2843E-06	.5750E-03
11	-.1017E-03	.9574E-03	-.3111E-06	-.6010E-08	-.4242E-07	.4500E-03
12	-.000119	.001651	.000000	.000000	-.000000	.000292
13	-.000076	.002030	.000000	.000000	.000000	.000114
14	-.000000	.002082	-.000000	.000000	.000000	-.000059
15	.000075	.001837	-.000000	.000000	-.000000	-.000202
16	.000119	.001365	.000000	.000000	.000000	-.000300
17	.1016E-03	.7437E-03	.7212E-07	-.2648E-08	.5718E-07	-.3616E-03
18	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.4597E-09	.3231E-07	-.4384E-03

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD COMBINATION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000	.000278	.001415	.000000
2	.000000	.000000	-.002438	.000255	.001301	.000000
3	.000000	.000000	-.004498	.000193	.000997	.000000
4	.000000	.000000	-.005888	.000104	.000554	.000000
5	.000000	.000000	-.006413	.000000	.000031	.000000
6	.000000	.000000	-.005987	-.000103	-.000509	.000000
7	.000000	.000000	-.004642	-.000193	-.000994	.000000
8	.000000	.000000	-.002544	-.000255	-.001346	.000000
9	.000000	.000000	.000000	-.000278	-.001482	.000000
10	.000000	.000000	.000000	.000278	.001482	.000000
11	.000000	.000000	-.002544	.000255	.001346	.000000
12	.000000	.000000	-.004642	.000193	.000994	.000000
13	.000000	.000000	-.005987	.000103	.000509	.000000
14	.000000	.000000	-.006413	-.000000	-.000031	.000000
15	.000000	.000000	-.005888	-.000104	-.000554	.000000
16	.000000	.000000	-.004498	-.000193	-.000997	.000000
17	.000000	.000000	-.002438	-.000255	-.001301	.000000
18	.000000	.000000	.000000	-.000278	-.001415	.000000

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD COMBINATION 2 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000	.000320	.001629	.000000
2	.000000	.000000	-.002807	.000293	.001498	.000000
3	.000000	.000000	-.005179	.000222	.001148	.000000
4	.000000	.000000	-.006779	.000119	.000638	.000000
5	.000000	.000000	-.007384	.000000	.000035	.000000
6	.000000	.000000	-.006893	-.000119	-.000586	.000000
7	.000000	.000000	-.005345	-.000222	-.001144	.000000
8	.000000	.000000	-.002929	-.000294	-.001550	.000000
9	.000000	.000000	.000000	-.000320	-.001707	.000000
10	.000000	.000000	.000000	.000320	.001707	.000000
11	.000000	.000000	-.002929	.000294	.001550	.000000
12	.000000	.000000	-.005345	.000222	.001144	.000000
13	.000000	.000000	-.006893	.000119	.000586	.000000
14	.000000	.000000	-.007384	-.000000	-.000035	.000000
15	.000000	.000000	-.006779	-.000119	-.000638	.000000
16	.000000	.000000	-.005179	-.000222	-.001148	.000000
17	.000000	.000000	-.002807	-.000293	-.001498	.000000
18	.000000	.000000	.000000	-.000320	-.001629	.000000

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD COMBINATION 3 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.1173E-03	.6039E-03	.0000E+00
2	.000000	.000000	-.001039	.000107	.000552	.000000
3	.000000	.000000	-.001904	.000081	.000413	.000000
4	.000000	.000000	-.002472	.000043	.000223	.000000
5	.000000	.000000	-.002681	.000000	.000013	.000000
6	.000000	.000000	-.002513	-.000043	-.000204	.000000
7	.000000	.000000	-.001964	-.000081	-.000412	.000000
8	.000000	.000000	-.001083	-.000108	-.000571	.000000
9	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.1174E-03	-.6318E-03	.0000E+00
10	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.1174E-03	.6318E-03	.0000E+00
11	.000000	.000000	-.001083	.000108	.000571	.000000
12	.000000	.000000	-.001964	.000081	.000412	.000000
13	.000000	.000000	-.002513	.000043	.000204	.000000
14	.000000	.000000	-.002681	.000000	-.000013	.000000
15	.000000	.000000	-.002472	-.000043	-.000223	.000000
16	.000000	.000000	-.001904	-.000081	-.000413	.000000
17	.000000	.000000	-.001039	-.000107	-.000552	.000000
18	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.1173E-03	-.6039E-03	.0000E+00

R E A C T I O N S A N D A P P L I E D F O R C E S

LOAD COMBINATION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(Z)	M(X)	M(Y)
1	.9660E+06	-.5821E-10	.5093E-10
2	-.5966E-09	-.3201E-09	-.5617E-08
3	-.6331E-07	.4366E-09	.3627E-07
4	.3507E-07	-.2183E-09	.2743E-07
5	.4320E-07	-.2234E-09	.4100E-07
6	-.6444E-07	-.4366E-09	-.2765E-08
7	.9582E-08	-.1746E-09	.2349E-07
8	.7887E-08	-.2910E-09	-.7567E-08
9	.1220E+07	.3783E-09	.5188E-08
10	.1220E+07	-.2910E-10	.6839E-08
11	.1310E-09	.1164E-09	.9619E-08
12	.5042E-08	-.5821E-10	-.3776E-08
13	.1193E-08	.2037E-09	-.5377E-08
14	-.2538E-07	.1110E-09	-.2512E-07
15	-.7512E-07	-.2910E-10	-.3491E-07
16	-.1910E-07	-.1746E-09	-.3350E-07
17	-.2522E-07	-.5239E-09	-.1094E-07
18	.9660E+06	.0000E+00	-.7567E-08

R E A C T I O N S A N D A P P L I E D F O R C E S

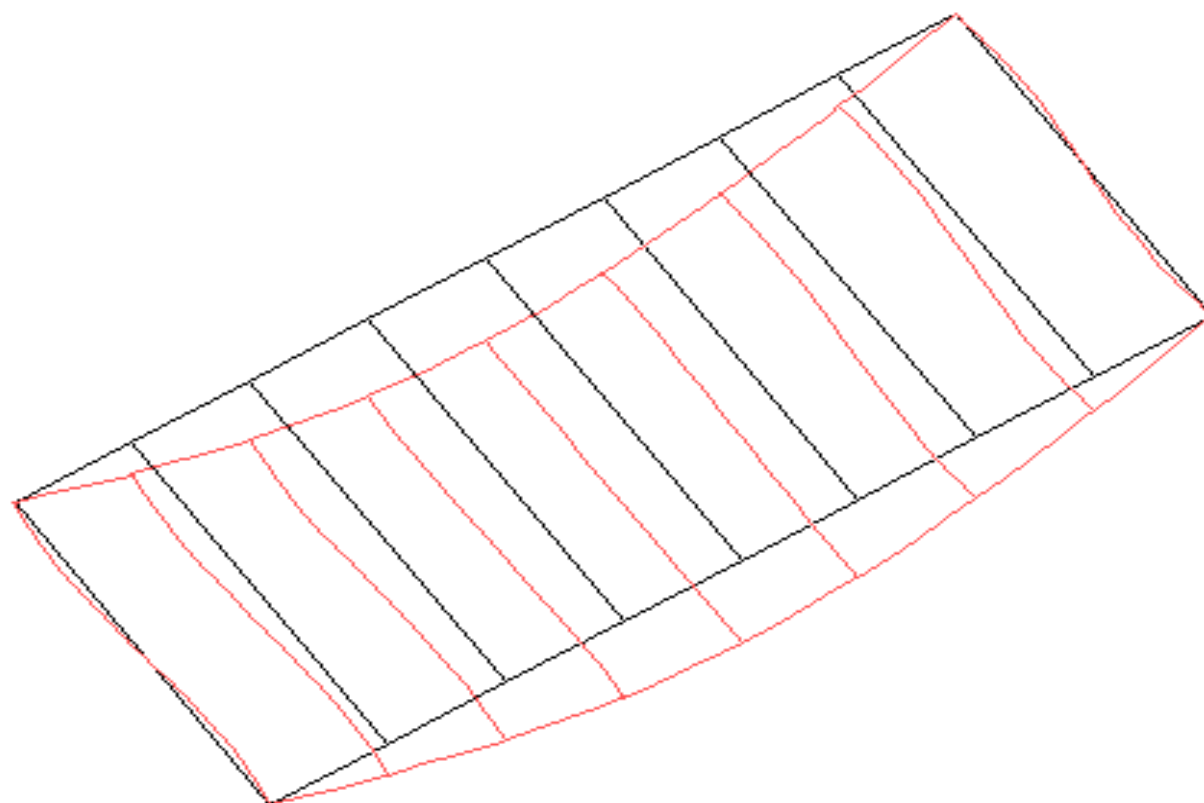
LOAD COMBINATION 2 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(Z)	M(X)	M(Y)
1	.1112E+07	-.3201E-09	.4227E-08
2	-.8426E-08	.2910E-09	-.4657E-08
3	-.6197E-07	.1164E-09	.1208E-08
4	.2978E-07	-.1892E-09	.2481E-07
5	-.2165E-07	-.5264E-09	.2550E-07
6	-.3669E-07	-.2474E-09	.1817E-07
7	-.1935E-07	.2910E-09	.2459E-07
8	-.6257E-09	.2037E-09	-.1845E-07
9	.1404E+07	.1746E-09	.2059E-08
10	.1404E+07	.2037E-09	.3667E-08
11	.5093E-09	-.8731E-10	.1151E-07
12	-.1244E-08	.2910E-09	-.5167E-07
13	.1884E-08	.2910E-10	-.2073E-07
14	-.4952E-08	.3831E-10	-.3625E-07
15	-.4023E-07	-.2765E-09	-.4694E-07
16	-.4829E-07	.6694E-09	-.1439E-07
17	.9837E-08	-.4075E-09	.2648E-08
18	.1112E+07	.2910E-10	-.1572E-08

R E A C T I O N S A N D A P P L I E D F O R C E S

LOAD COMBINATION 3 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(Z)	M(X)	M(Y)
1	.3994E+06	-.1273E-09	.1995E-08
2	-.1660E+06	.3456E-10	.2574E-08
3	-.1660E+06	.3492E-09	.1037E-07
4	-.1210E+06	-.3347E-09	.1377E-07
5	-.1102E-08	-.8731E-10	.1377E-07
6	-.1210E+06	-.8731E-10	.4929E-09
7	-.1660E+06	-.1892E-09	.3056E-08
8	-.1660E+06	.7185E-10	.5887E-08
9	.5066E+06	.5821E-10	.7021E-09
10	.5066E+06	.6912E-10	.1794E-08
11	-.1660E+06	-.1473E-09	.7665E-09
12	-.1660E+06	.1837E-09	-.1528E-07
13	-.1210E+06	-.2692E-09	-.7150E-08
14	-.3041E-07	.4002E-09	.3874E-08
15	-.1210E+06	-.4366E-10	.3058E-08
16	-.1660E+06	-.2074E-09	-.1544E-07
17	-.1660E+06	.7276E-11	-.4784E-08
18	.3994E+06	-.5457E-10	.7640E-09



03VI02

DEFORMED
SHAPE

LOAD 1

MINIMA

X .0000E+00

Y .0000E+00

Z -.6413E-02

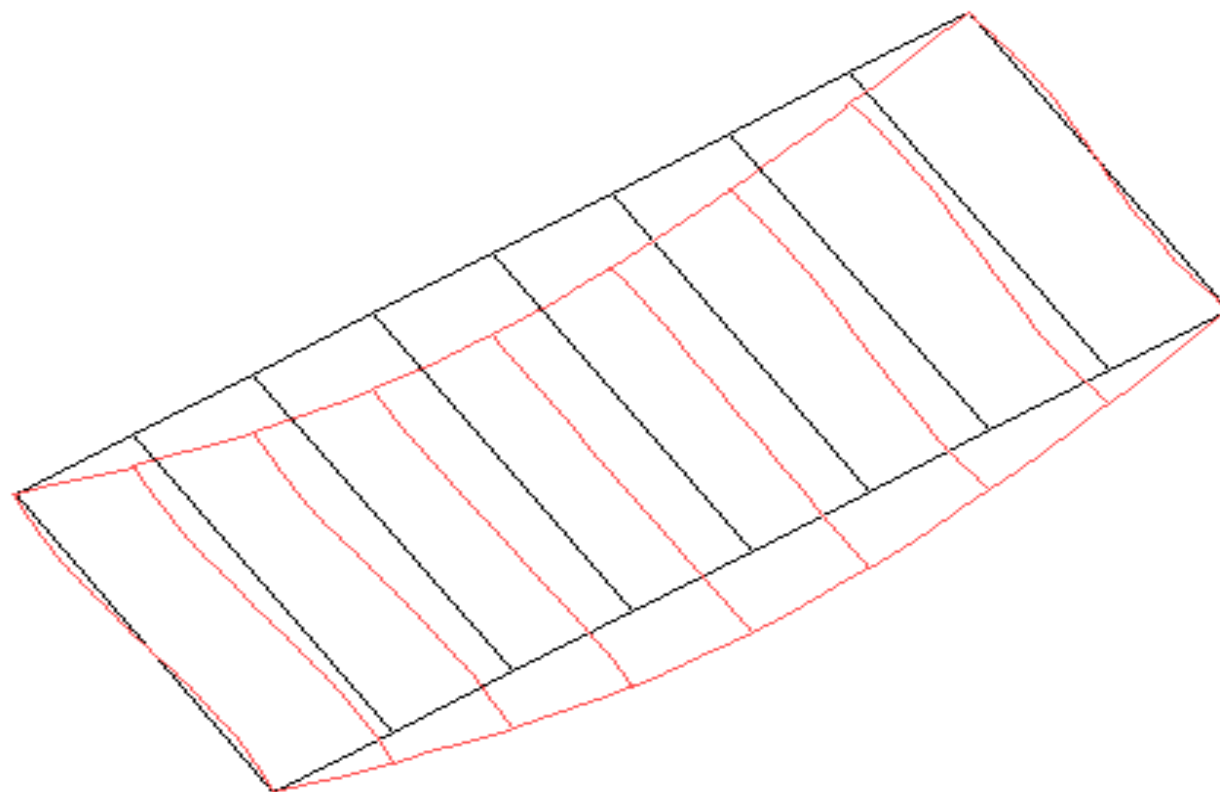
MAXIMA

X .0000E+00

Y .0000E+00

Z .0000E+00

SAP90



03VI02

DEFORMED
SHAPE

LOAD 2

MINIMA

X .0000E+00

Y .0000E+00

Z -.7384E-02

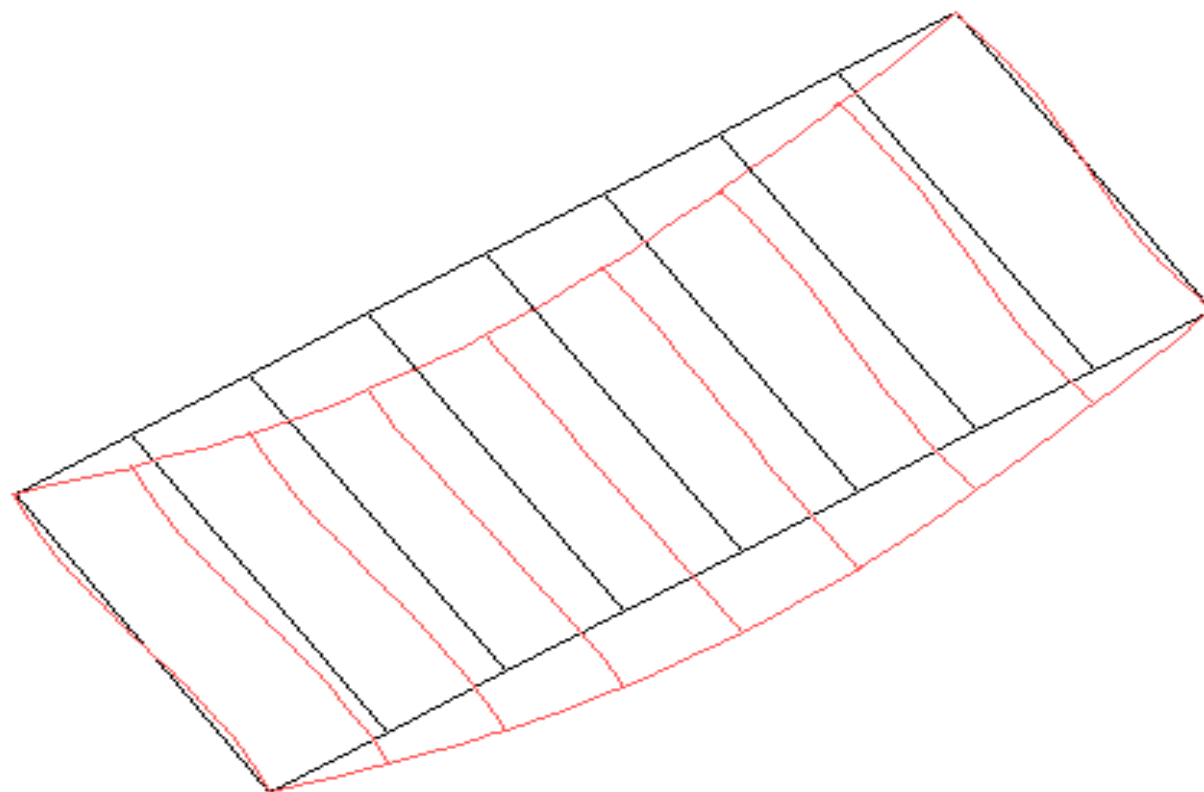
MAXIMA

X .0000E+00

Y .0000E+00

Z .0000E+00

SAP90



03VI02

DEFORMED
SHAPE

LOAD 3

MINIMA

X .0000E+00

Y .0000E+00

Z -.2681E-02

MAXIMA

X .0000E+00

Y .0000E+00

Z .0000E+00

SAP90

C S I / S A P 9 0 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 1
PROGRAM:SAP90/FILE:03VI02.EIG
03VI02. LAV MADRID-BARCELONA-F.FRANCESA. BASE MADRID-SUR. UD: N-m

E I G E N S Y S T E M P A R A M E T E R S

NUMBER OF EQUATIONS	=	96
NUMBER OF MASSES	=	42
NUMBER OF VALUES TO BE EVALUATED	=	5
SIZE OF SUBSPACE	=	9

E I G E N V A L U E S A N D F R E Q U E N C I E S

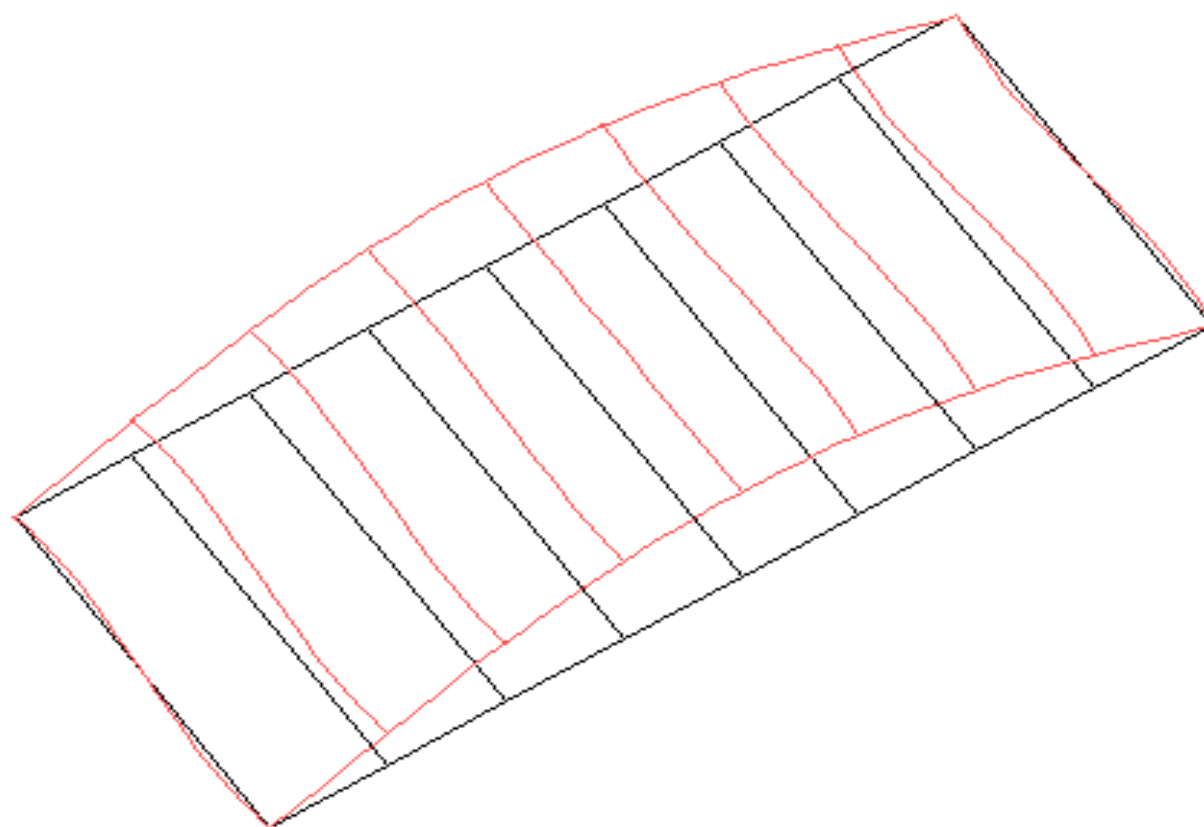
MODE NUMBER	EIGENVALUE (RAD/SEC)**2	CIRCULAR FREQ (RAD/SEC)	FREQUENCY (CYCLES/SEC)	PERIOD (SEC)
1	.193966E+04	.440416E+02	7.009434	.142665
2	.243150E+04	.493103E+02	7.847972	.127421
3	.299434E+05	.173042E+03	27.540416	.036310
4	.314986E+05	.177478E+03	28.246564	.035403
5	.577499E+05	.240312E+03	38.246858	.026146

B A S E F O R C E R E A C T I O N F A C T O R S

MODE	PERIOD	X	Y	Z	X	Y	Z
#	(sec)	DIRECTION	DIRECTION	DIRECTION	MOMENT	MOMENT	MOMENT
1	.143	.202E-04	.330E-05	.593E+03	.187E+04	-.493E+04	-.809E-04
2	.127	-.689E-04	-.268E-05	.257E-05	.187E+04	-.774E+03	-.365E-03
3	.036	-.224E-02	.470E-04	.114E-03	.471E+02	.200E+04	-.539E-01
4	.035	.137E-01	.510E-02	.923E+01	.291E+02	-.766E+02	.178E+00
5	.026	.300E-01	.594E+03	-.140E-02	-.155E-01	-.522E-01	.494E+04

P A R T I C I P A T I N G M A S S - (percent)

MODE	X-DIR	Y-DIR	Z-DIR	X-SUM	Y-SUM	Z-SUM
1	.000	.000	90.246	.000	.000	90.246
2	.000	.000	.000	.000	.000	90.246
3	.000	.000	.000	.000	.000	90.246
4	.000	.000	.022	.000	.000	90.267
5	.000	90.541	.000	.000	90.541	90.267



03VI02

MODE

SHAPE

MODE

1

MINIMA

X .0000E+00

Y -.1578E-09

Z .0000E+00

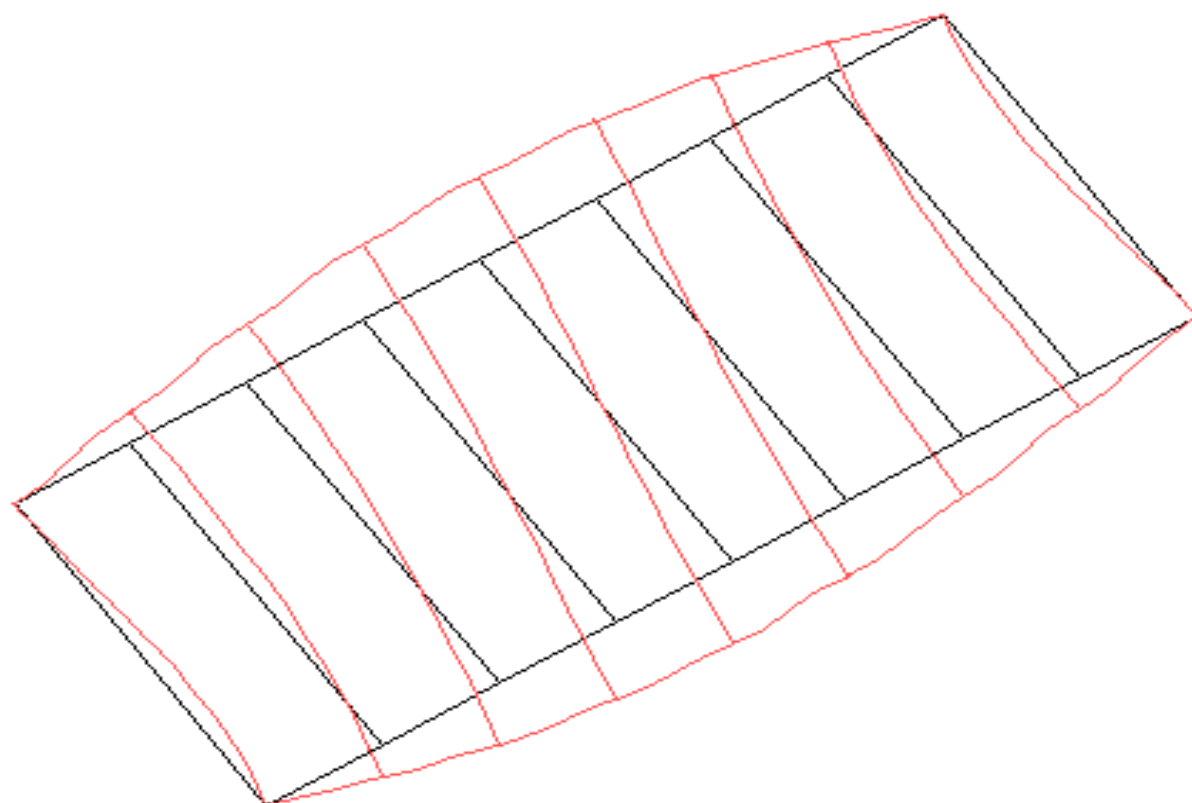
MAXIMA

X .1005E-09

Y .2230E-09

Z .2119E-02

SAP90



03VI02

MODE
SHAPE

MODE 2

MINIMA

X -.5551E-09

Y -.7292E-09

Z -.2110E-02

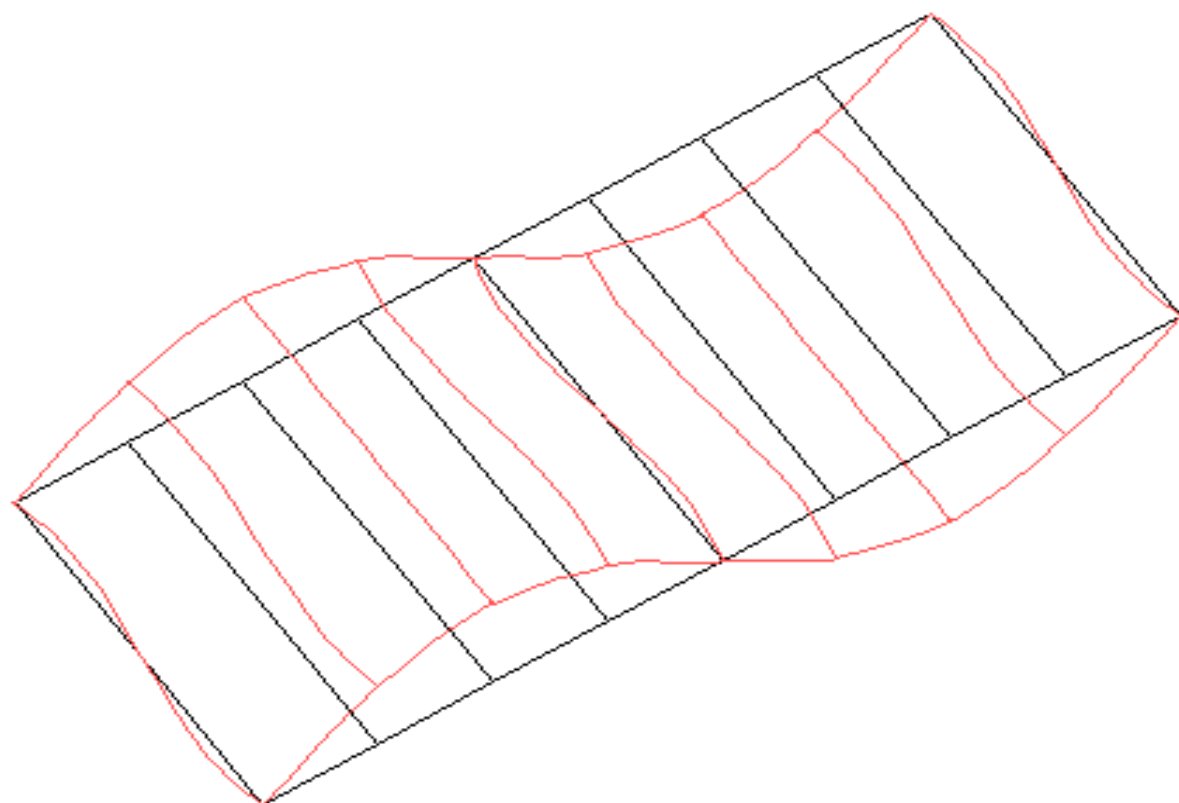
MAXIMA

X .1005E-09

Y .9505E-09

Z .2110E-02

SAP90



03VI02

MODE

SHAPE

MODE

3

MINIMA

X $-.3364\text{E}-07$

Y $-.7114\text{E}-07$

Z $-.2164\text{E}-02$

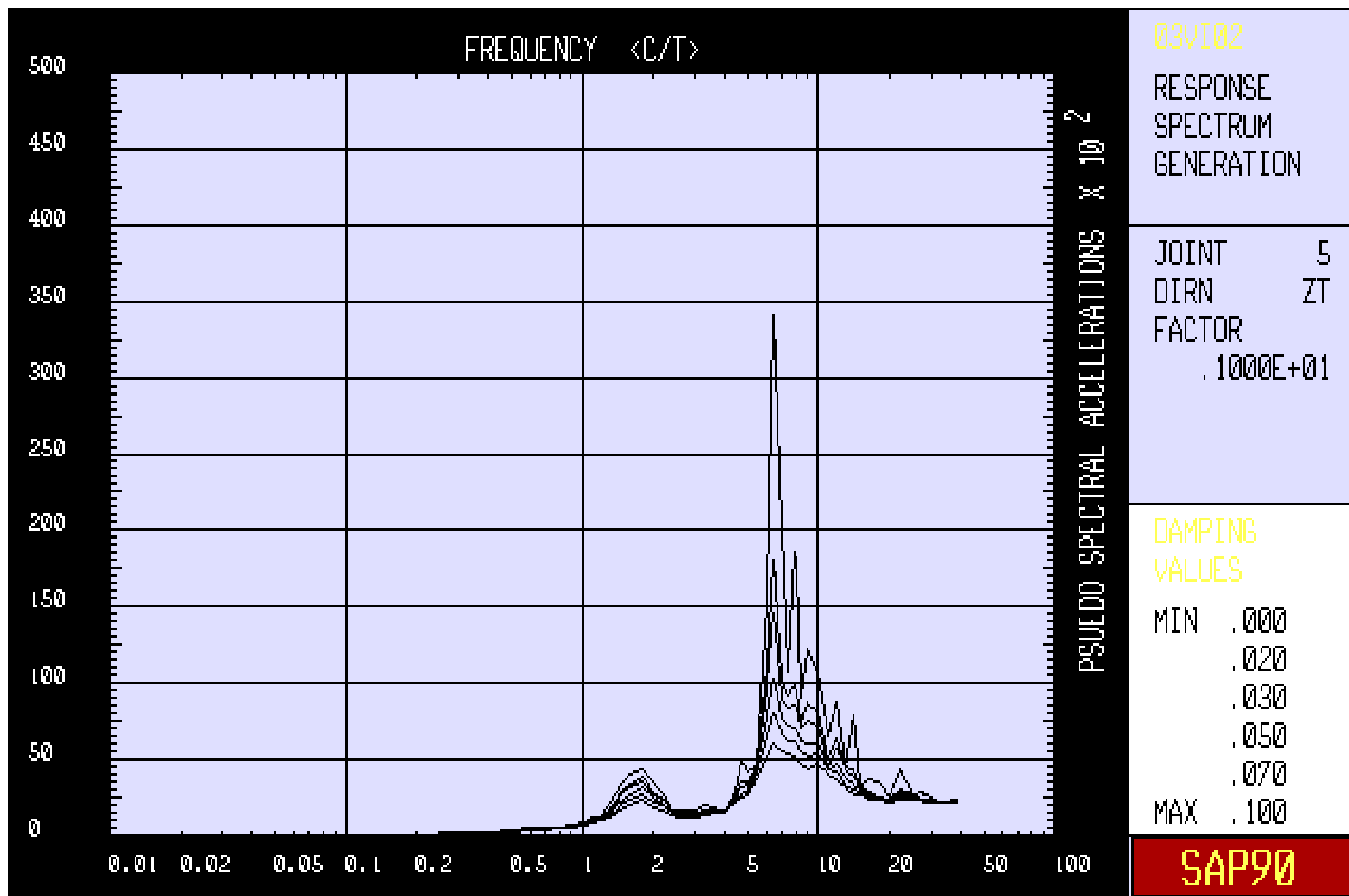
MAXIMA

X $.2020\text{E}-07$

Y $.7377\text{E}-07$

Z $.2164\text{E}-02$

SAP90



8.2. ANEJO N°2: ANÁLISIS DEL PROYECTO DE LA ESTRUCTURA

ANÁLISIS DEL PROYECTO DE LA ESTRUCTURA

La documentación facilitada a Ingeniería de Instrumentación y Control (IIC) incluye el Anejo de Cálculo del Proyecto y los planos de la estructura numerados en el Apartado 3 de este Proyecto.

Tomando como base la mencionada documentación se ha realizado una evaluación estructural de la estructura 03VI02, de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base Madrid Sur.

- **Datos Generales de la estructura**

Vano tipo	
Luz de Cálculo (m)	14,16
Canto de vigas artesa (m)	0,90
Canto losa superior (m)	0,30
Separación entre vigas artesa (m)	6,30
Resistencia hormigón de vigas artesa (N/mm ²)	55
Resistencia hormigón de losa superior (N/mm ²)	30

- **Cargas consideradas**

Cargas permanentes	Peso Propio viga	24,4	kN / m
	Peso Propio losa	105,0	kN / m
	Balasto	10,9	kN / m
	Vías y traviesas	12,8	kN / m
	Pendenteado	11,8	kN / m
	Murete guardabalasto	5,0	kN / m
	Impostas, barandilla y canaletas	22,4	kN / m

Sobrecargas	Sobrecarga Uniforme en paseos de servicio	4,0	kN / m ²
	Tren de cargas	120 X 2	kN / m

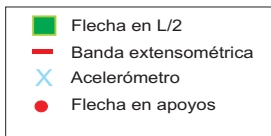
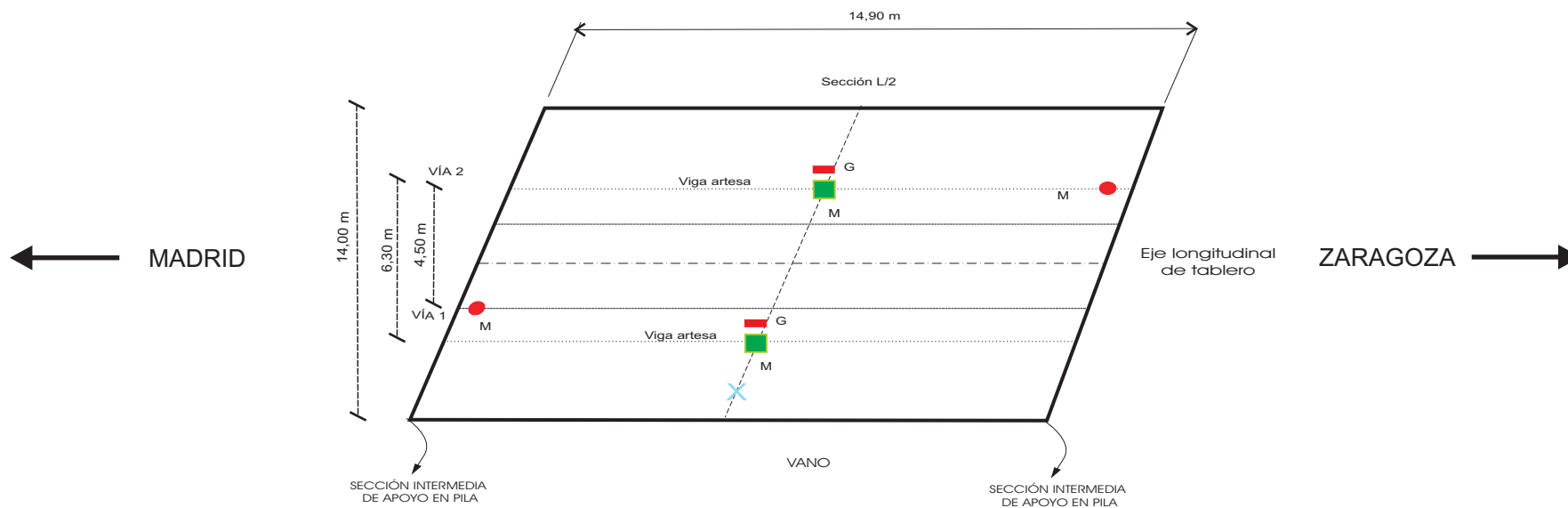
Para la obtención del valor de la sobrecarga se ha supuesto la acción de **dos trenes tipo B** (*“Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril”*, carga lineal de 120 kN/m). Así mismo se ha considerado un coeficiente de impacto de 1,404

- **Momentos Flectores Máximos**

Se han comparado los máximos valores medidos para el momento flector de cálculo en centro de vano, habiéndose comprobado que la capacidad resistente de la solución estructural adoptada es superior a los valores de cálculo, obtenidos a partir de las características geométricas de la estructura y mediante la aplicación de los valores de carga y coeficientes de mayoración recogidos en la Normativa vigente.

Los cálculos realizados por IIC, S.A. para realizar la comprobación indicada se han realizado mediante un modelo bidimensional, incluido en el Anejo nº 1: Cálculos Justificativos, en el que se calculan mediante el modelo unidimensional las solicitaciones debidas a las cargas permanentes (combinación L=1) y a las sobrecargas (combinación L=2).

8.3. ANEJO Nº 3: CROQUIS Y PLANOS



Caracter alfanumérico correlativo al nº de vanos
 Número de vano (1 al 3)

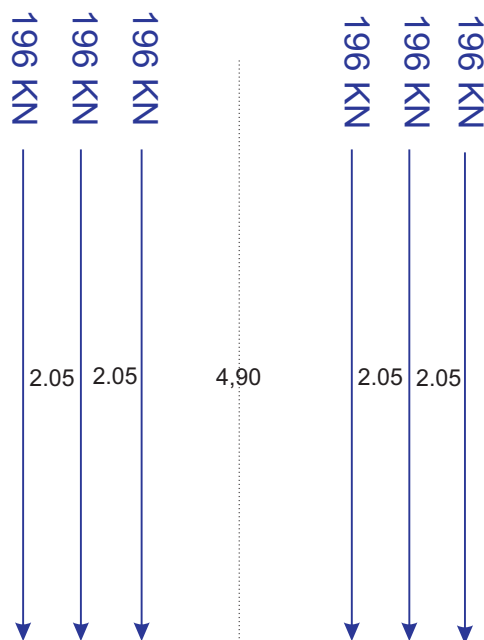
LOCOMOTORA SERIE 060



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Peso de la locomotora	1180 KN
Peso por eje	196 KN
Longitud entre topes	17.000 mm
Empate entre pivotes de bogies	9.000 mm
Distancia entre ejes extremos de bogie	4.100 mm

LOCOMOTORA SERIE 060



LOCOMOTORA EN VÍAS 1 y 2

HIPÓTESIS DE CÁLCULO I



NOTA: Distancias en metros

8.4. ANEJO Nº 4: REPORTAJE FOTOGRÁFICO DE LA INSPECCIÓN PREVIA



Foto 1: Alzado Derecho



Foto 2: Alzado Izquierdo



Foto 3: Vista Superior desde entrada



Foto 4: Vista Superior desde salida



Foto 5: Estribo de entrada



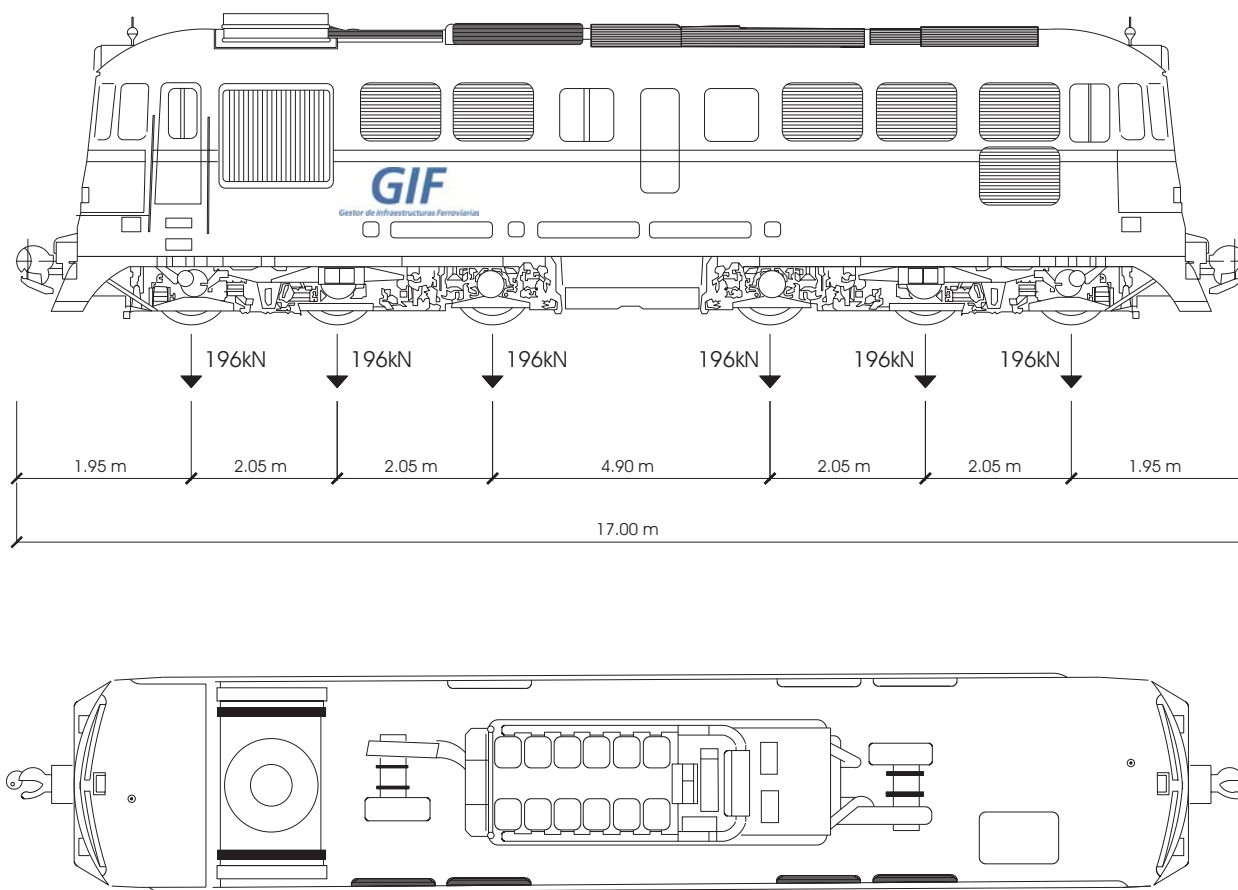
Foto 6: Estribo de salida

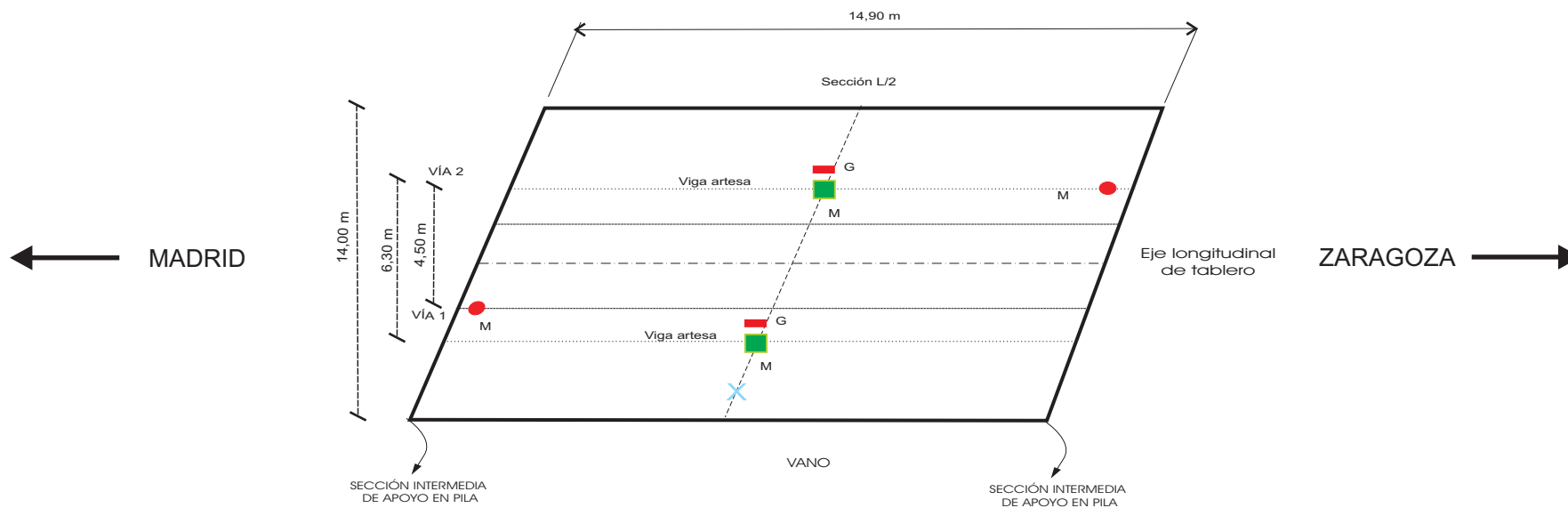


Foto 7: Vista inferior

10.3. ANEJO Nº 3: ESQUEMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TREN DE CARGAS

CROQUIS DE CARGAS. LOCOMOTORA 060





- Flecha en L/2
- Banda extensométrica
- X Acelerómetro
- Flecha en apoyos

Caracter alfanumérico correlativo al n° de vanos

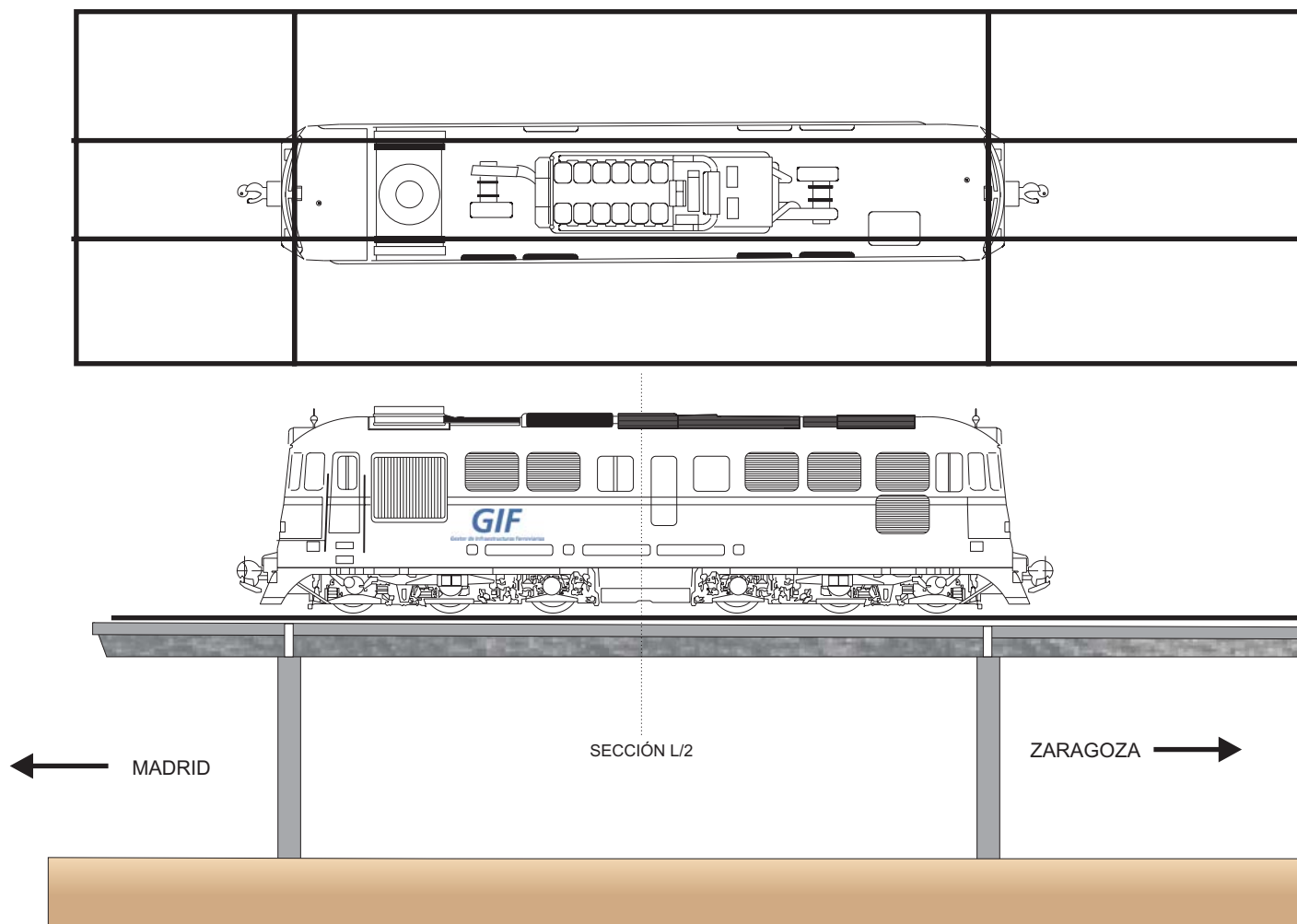
Número de vano (1 al 3)

En el vano 2 únicamente se instrumentaron dos puntos para la medida de flecha en centro de vano y un acelerómetro en centro de vano.

LOCOMOTORA 060

LOCOMOTORA EN VÍAS 1 y 2

HIPÓTESIS DE CÁLCULO I



10.4. ANEJO N° 4: REGISTRO DE MEDIDAS

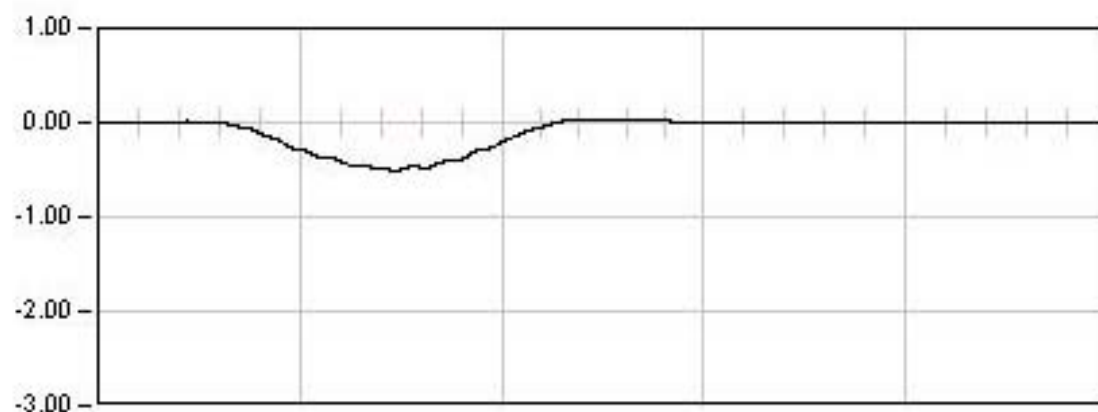
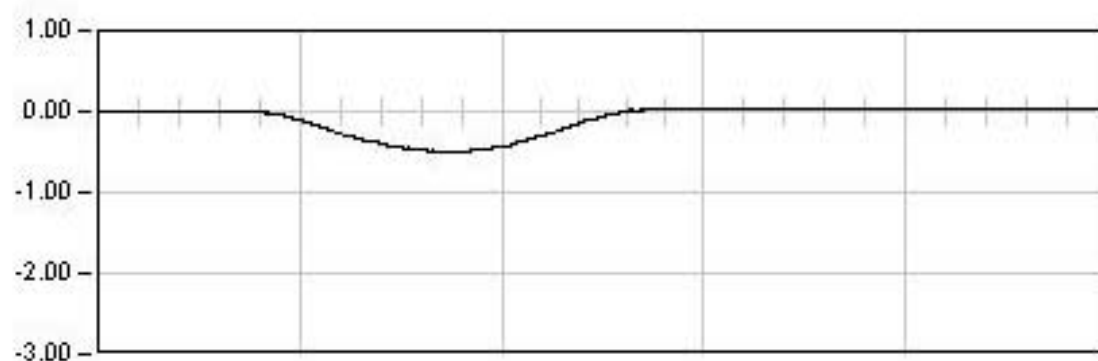
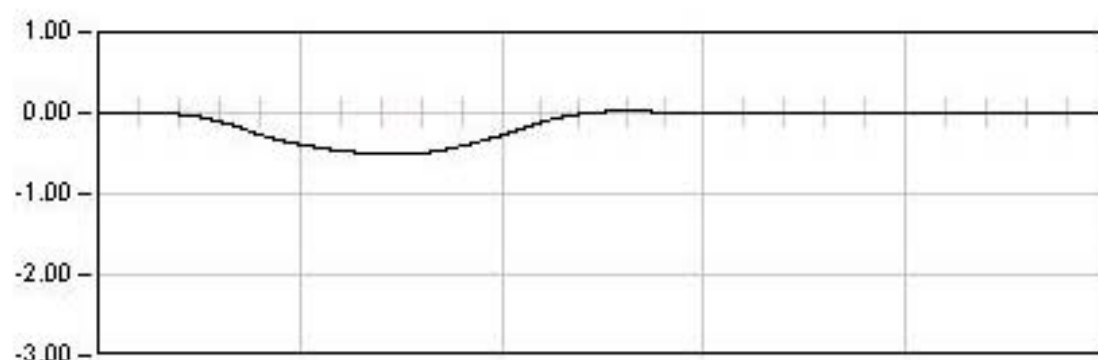
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 1

Punto : M11

Canal : 00

Unidades : mm



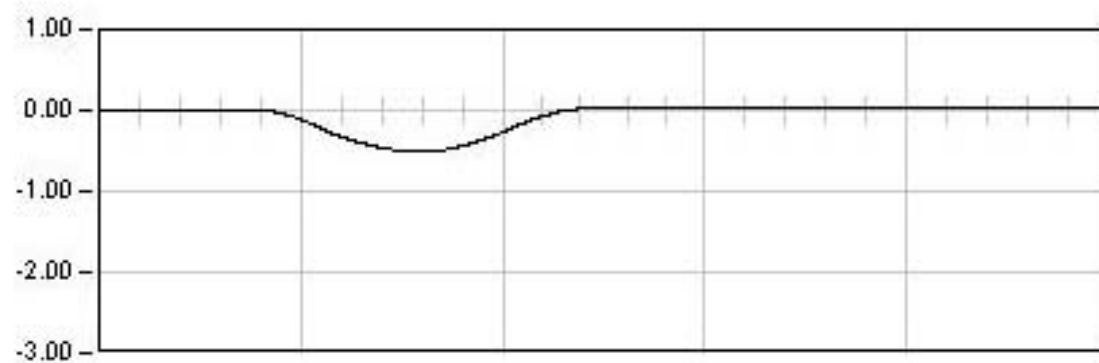
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 1

Punto : M11

Canal : 00

Unidades : mm



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: -0.52

Min: 0.03

Rem: 0.02

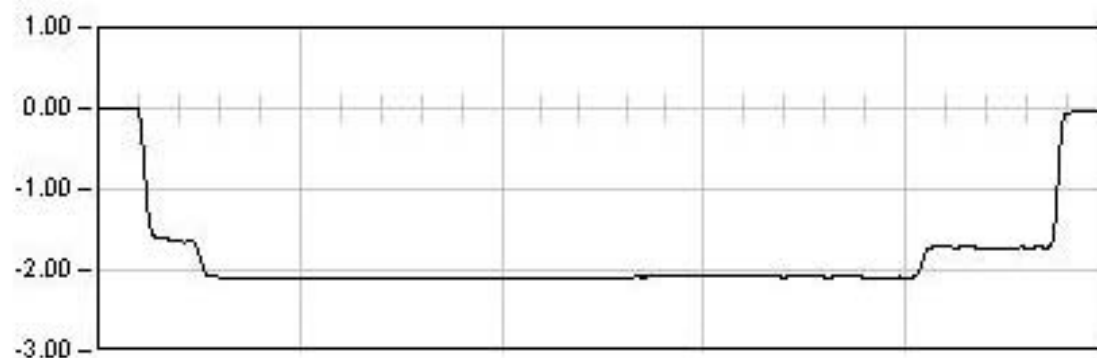
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 1

Punto : M12

Canal : 01

Unidades : mm



ESTATICA 00

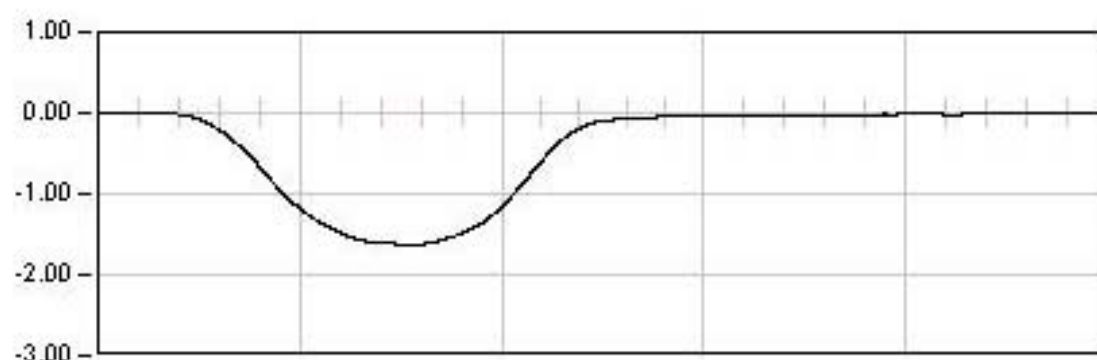
1100.0 Seg

Est: -2.07

Max: -2.10

Min: 0.05

Rem: 0.00



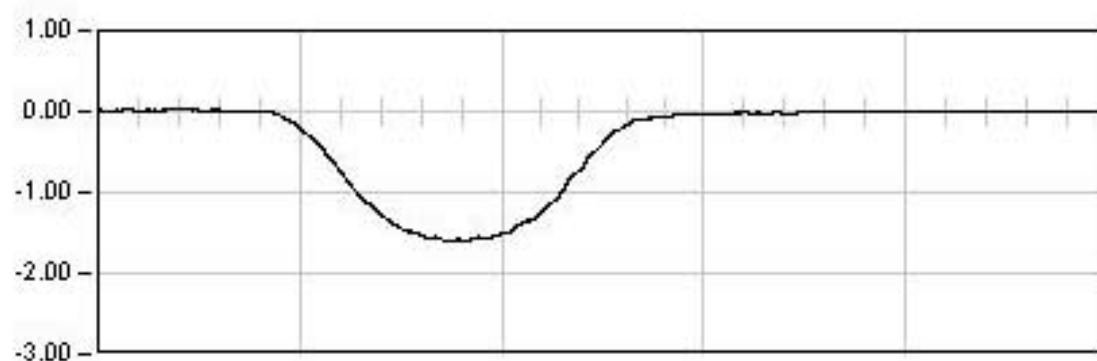
DINAMICA 01

29.0 Seg

Max: -1.63

Min: 0.01

Rem: 0.00



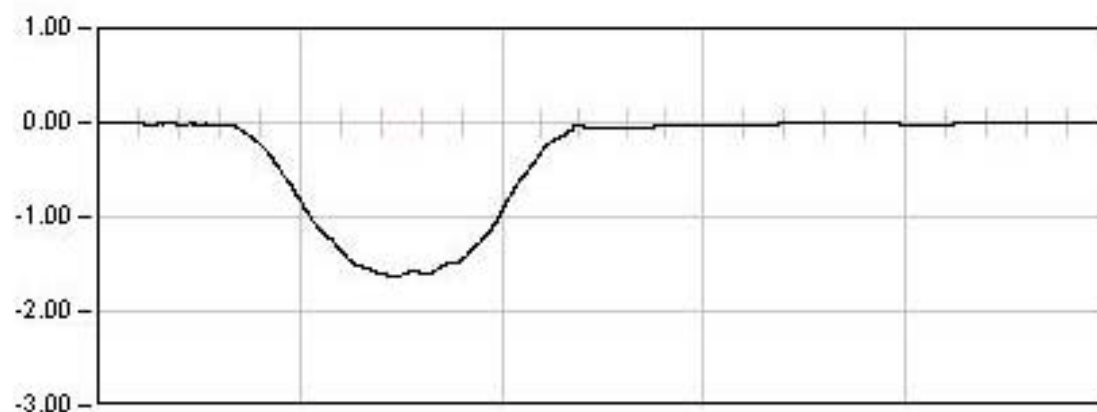
DINAMICA 02

6.0 Seg

Max: -1.61

Min: 0.03

Rem: 0.01



DINAMICA 03

4.0 Seg

Max: -1.63

Min: 0.03

Rem: -0.00

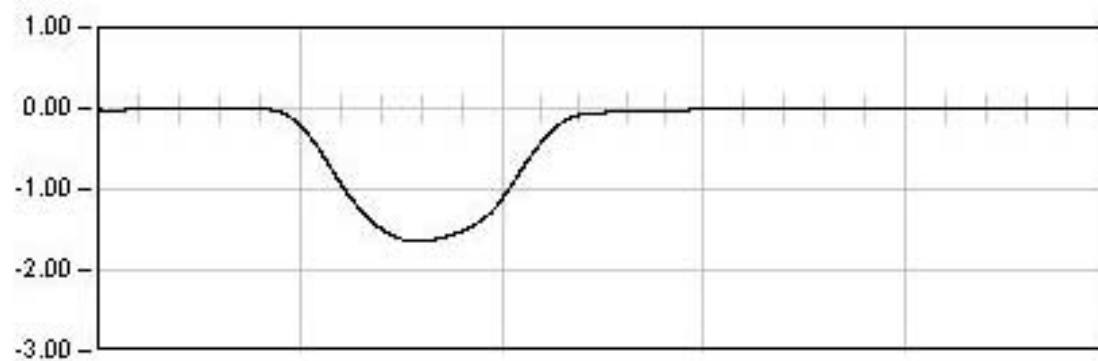
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 1

Punto : M12

Canal : 01

Unidades : mm



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: -1.63

Min: 0.02

Rem: -0.01

03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 1

Punto : M13 Canal : 02 Unidades : mm



ESTATICA 00

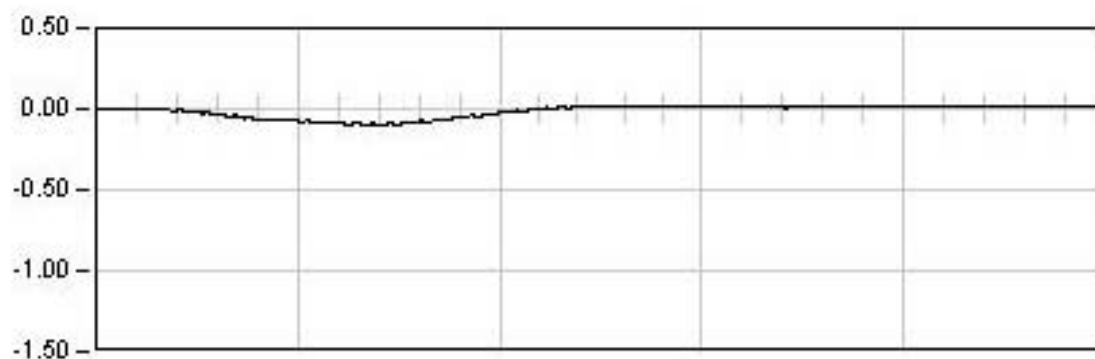
1100.0 Seg

Est: -0.74

Max: -0.75

Min: 0.01

Rem: 0.00



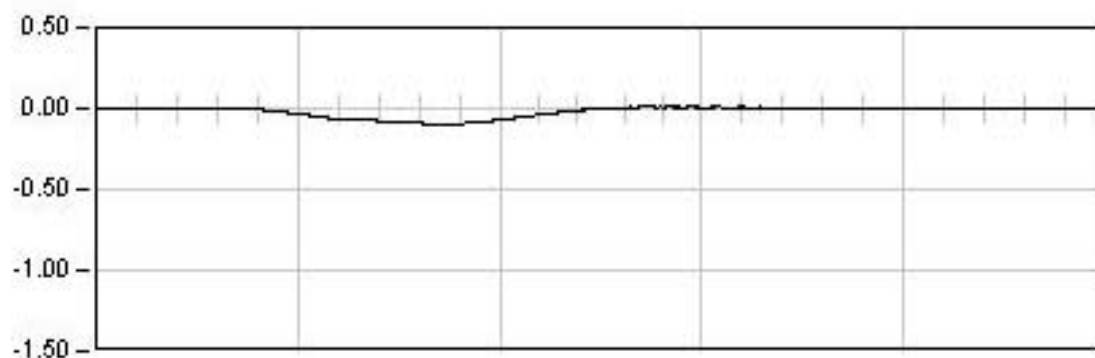
DINAMICA 01

29.0 Seg

Max: -0.10

Min: 0.02

Rem: 0.02



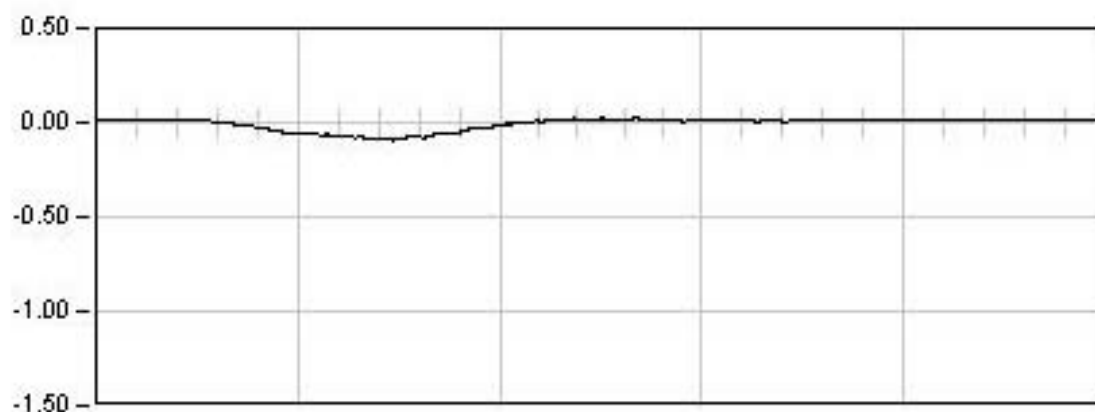
DINAMICA 02

6.0 Seg

Max: -0.10

Min: 0.01

Rem: -0.00



DINAMICA 03

4.0 Seg

Max: -0.09

Min: 0.02

Rem: 0.01

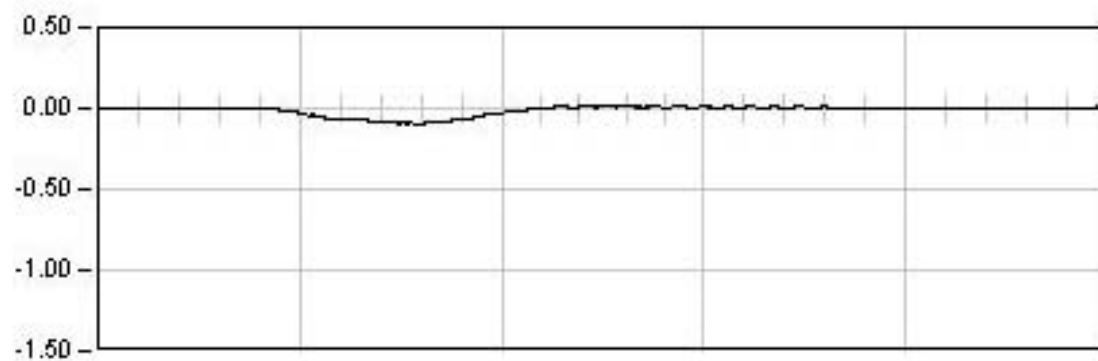
03YI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 1

Punto : M13

Canal : 02

Unidades : mm



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: -0.10

Min: 0.02

Rem: -0.00

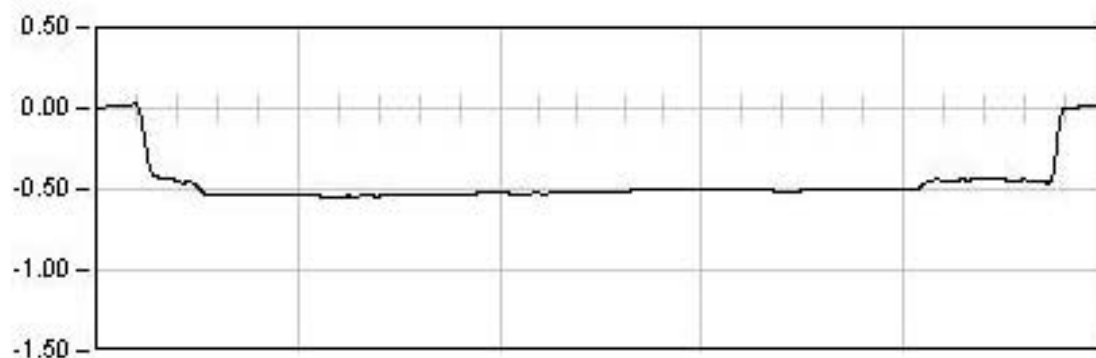
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 1

Punto : M14

Canal : 03

Unidades : mm



ESTATICA 00

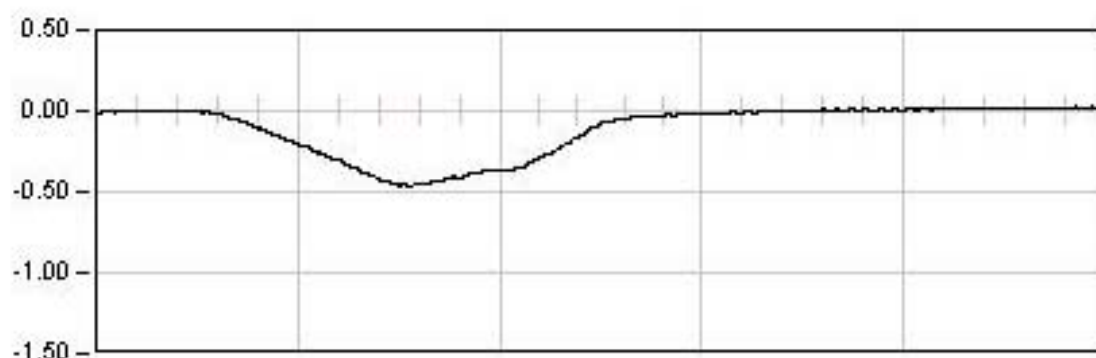
1100.0 Seg

Est: -0.51

Max: -0.54

Min: 0.03

Rem: -0.00



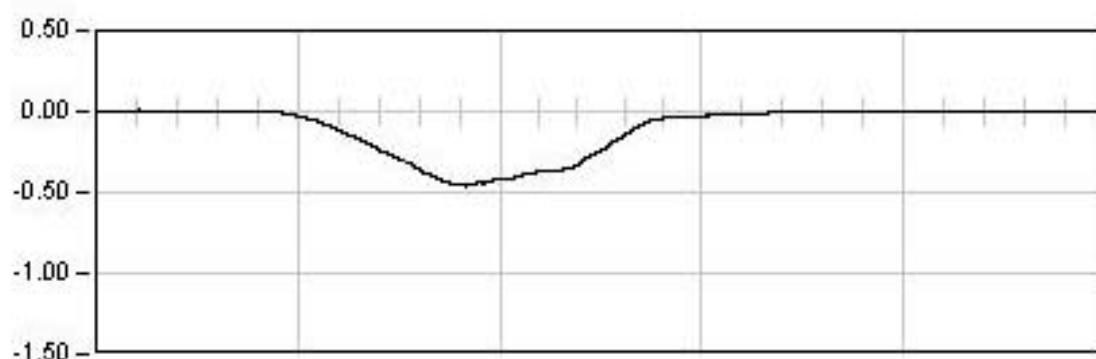
DINAMICA 01

29.0 Seg

Max: -0.46

Min: 0.03

Rem: 0.01



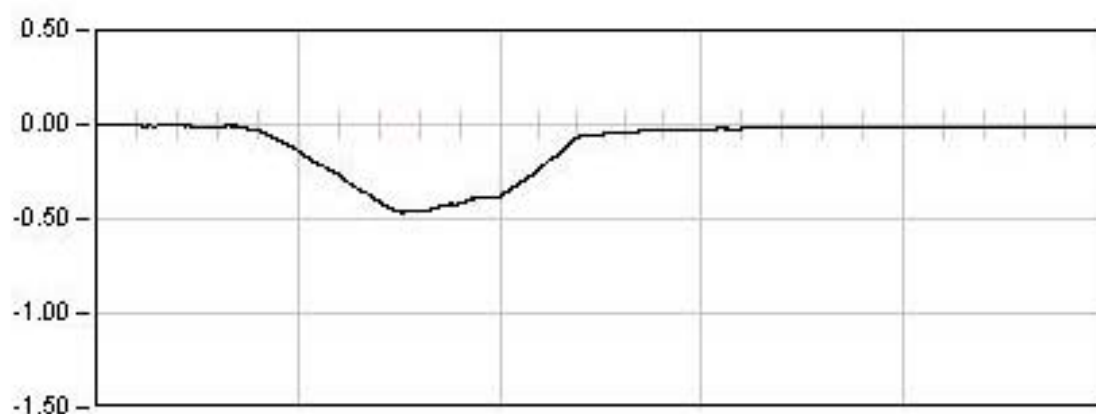
DINAMICA 02

6.0 Seg

Max: -0.46

Min: 0.02

Rem: -0.01



DINAMICA 03

4.0 Seg

Max: -0.47

Min: 0.01

Rem: -0.01

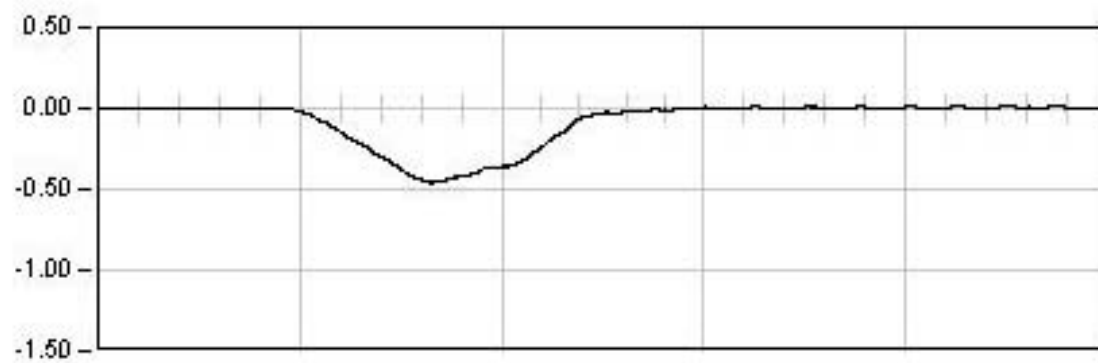
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 1

Punto : M14

Canal : 03

Unidades : mm



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: -0.46

Min: 0.02

Rem: 0.00

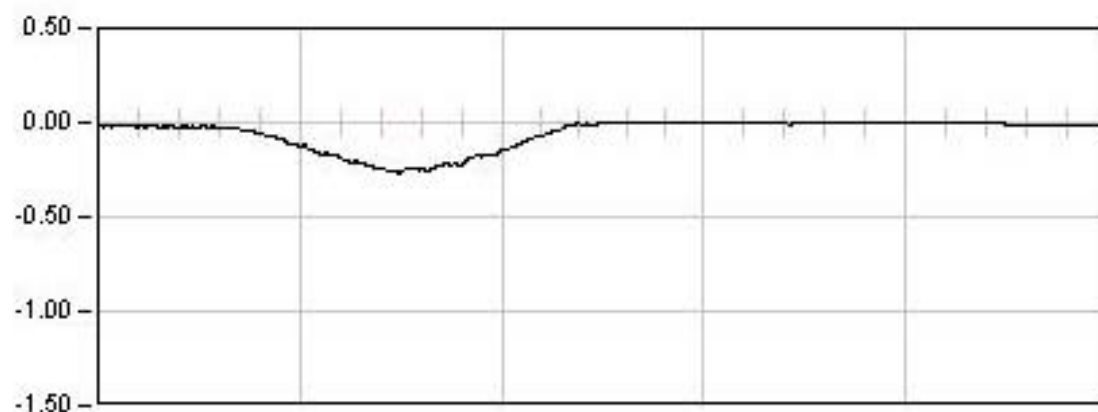
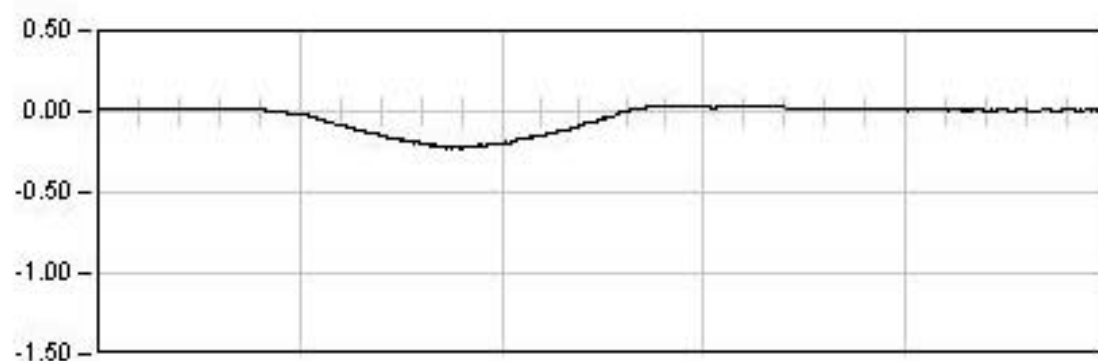
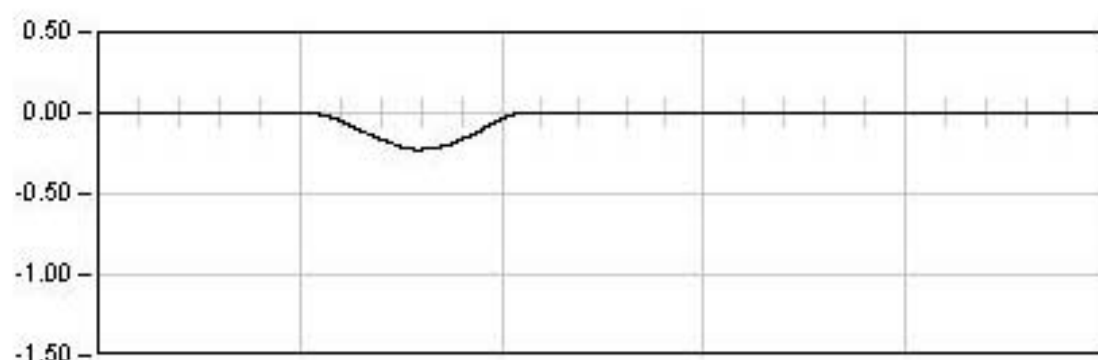
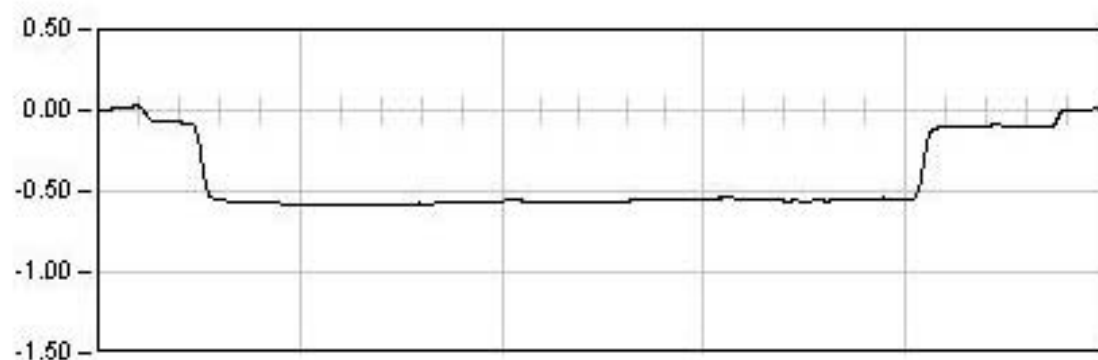
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 1

Punto : M15

Canal : 04

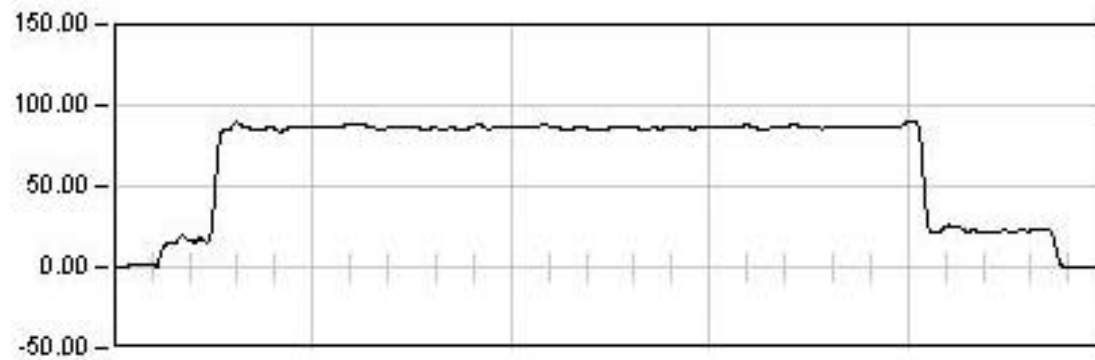
Unidades : mm



03VI02. BASE DE MADRID SUR

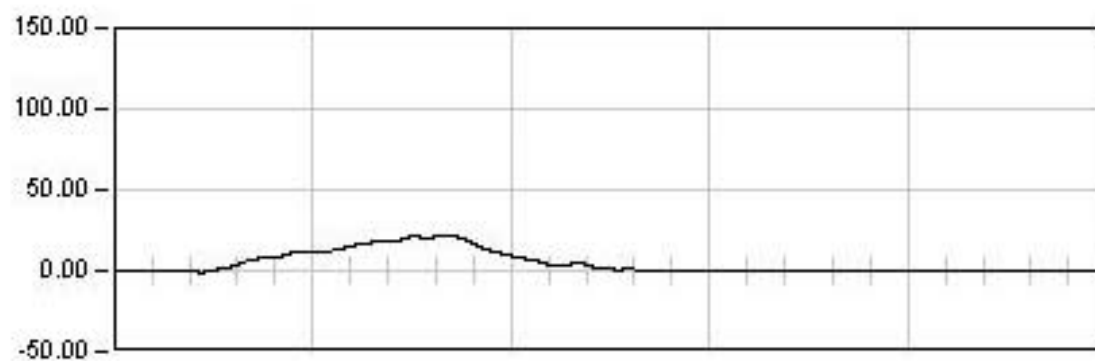
Vano 1

Punto : G11 Canal : 05 Unidades : μE



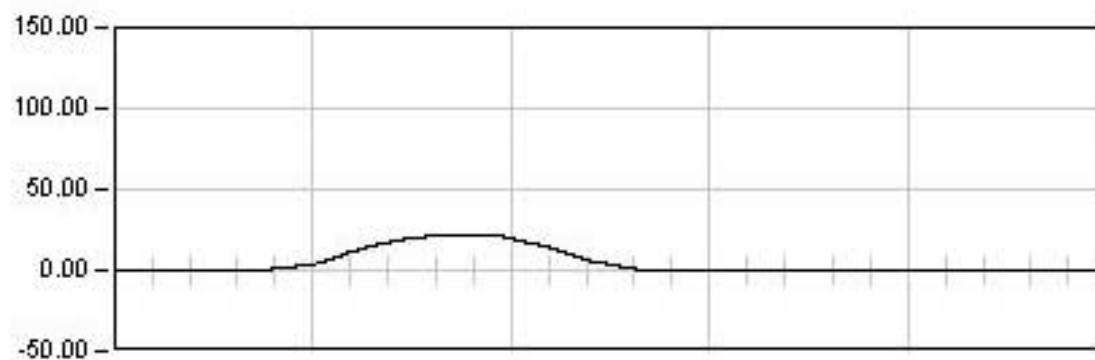
ESTATICA 00

1100.0 Seg
Est: 84.50
Max: 90.60
Min: -0.14
Rem: 0.11



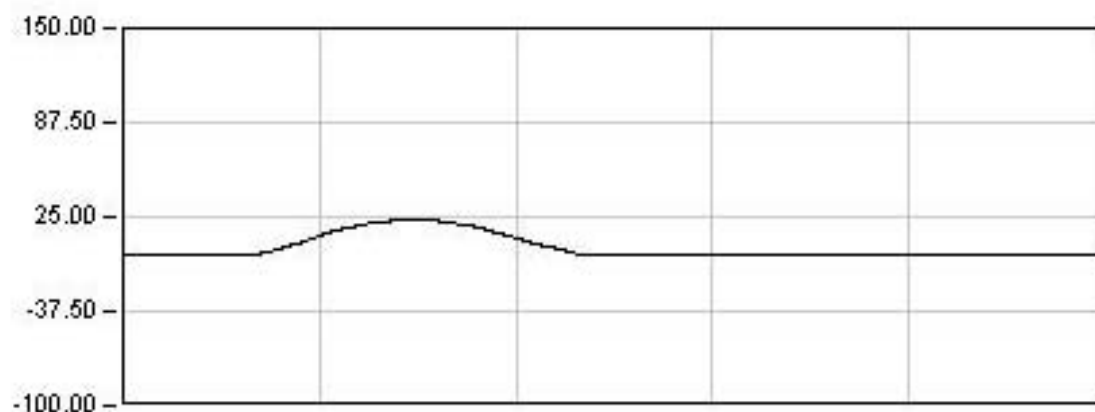
DINAMICA 01

29.0 Seg
Max: 22.28
Min: -0.89
Rem: 0.31



DINAMICA 02

6.0 Seg
Max: 22.36
Min: -0.06
Rem: -0.02



DINAMICA 03

4.0 Seg
Max: 23.16
Min: -0.30
Rem: -0.03

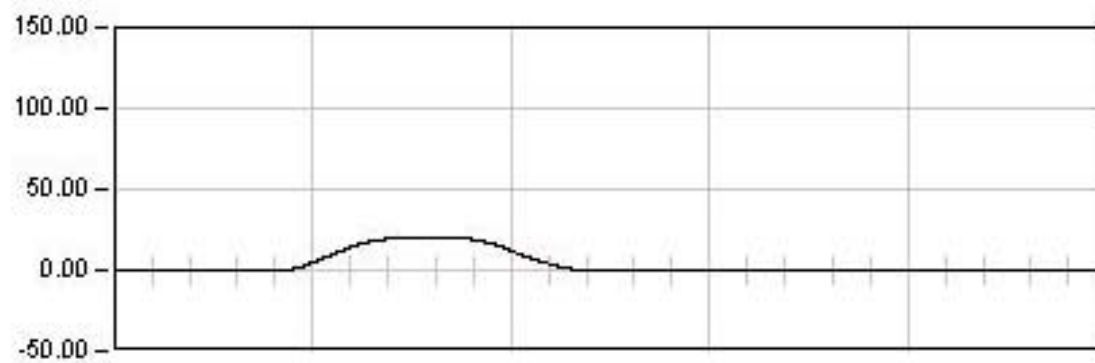
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 1

Punto : G11

Canal : 05

Unidades : μ E



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: 20.74

Min: -0.59

Rem: -0.08

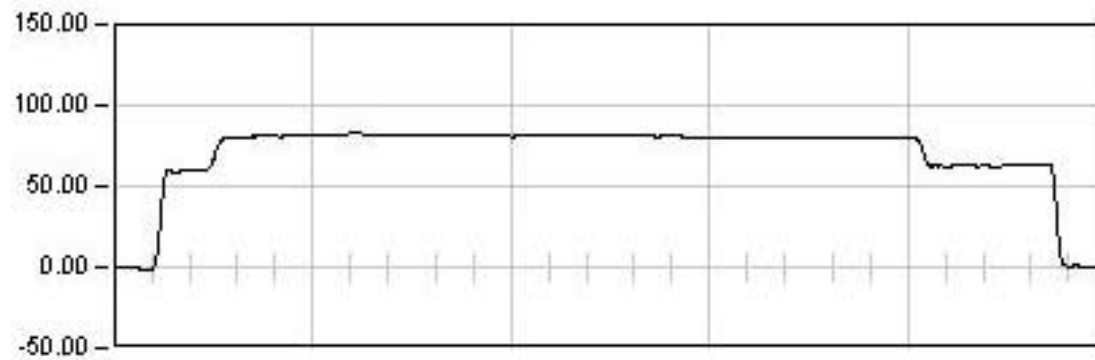
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 1

Punto : G12

Canal : 06

Unidades : μE



ESTATICA 00

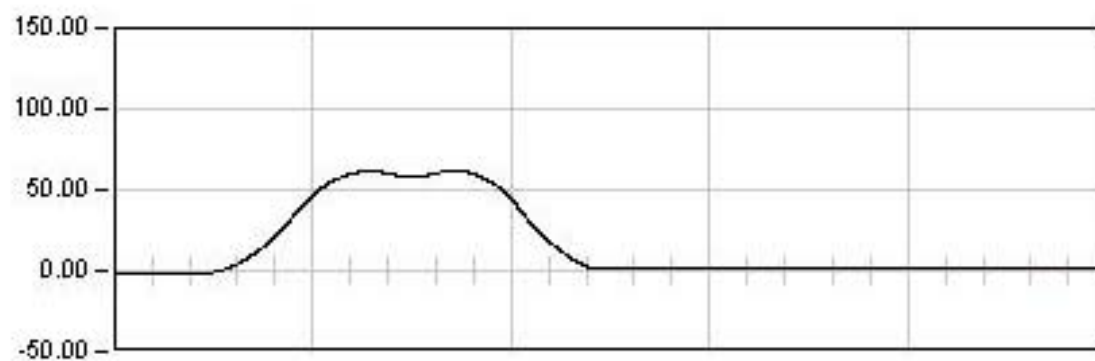
1100.0 Seg

Est: 78.38

Max: 82.98

Min: -1.14

Rem: 0.10



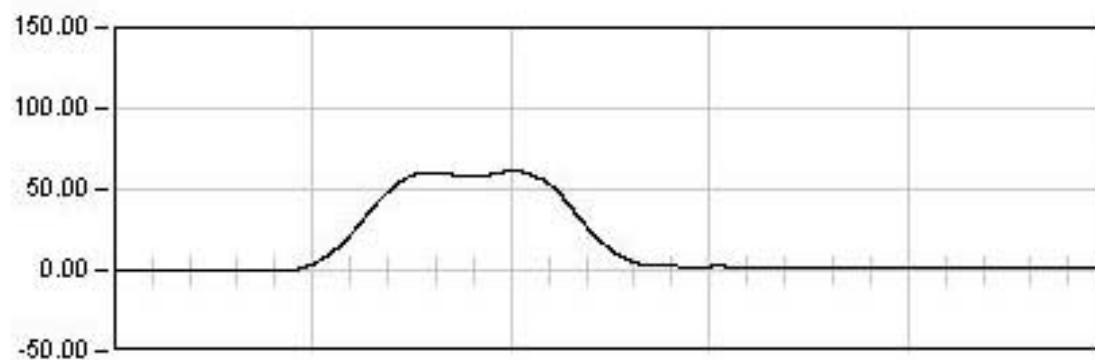
DINAMICA 01

29.0 Seg

Max: 62.04

Min: -1.45

Rem: -0.08



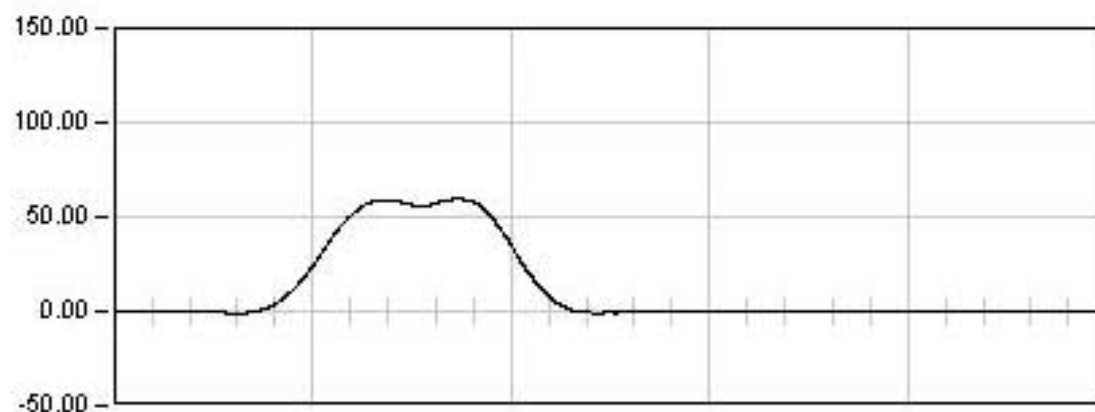
DINAMICA 02

6.0 Seg

Max: 61.48

Min: -0.62

Rem: -0.03



DINAMICA 03

4.0 Seg

Max: 59.44

Min: -0.87

Rem: -0.16

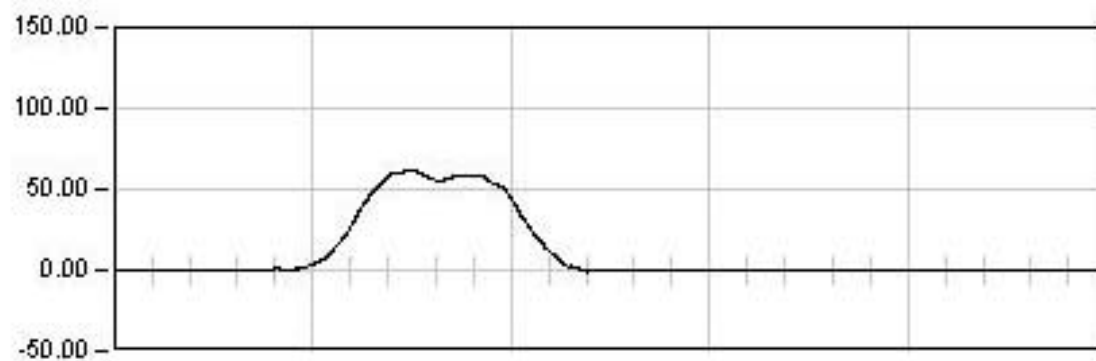
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 1

Punto : G12

Canal : 06

Unidades : μ E



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: 61.41

Min: -1.08

Rem: 0.07

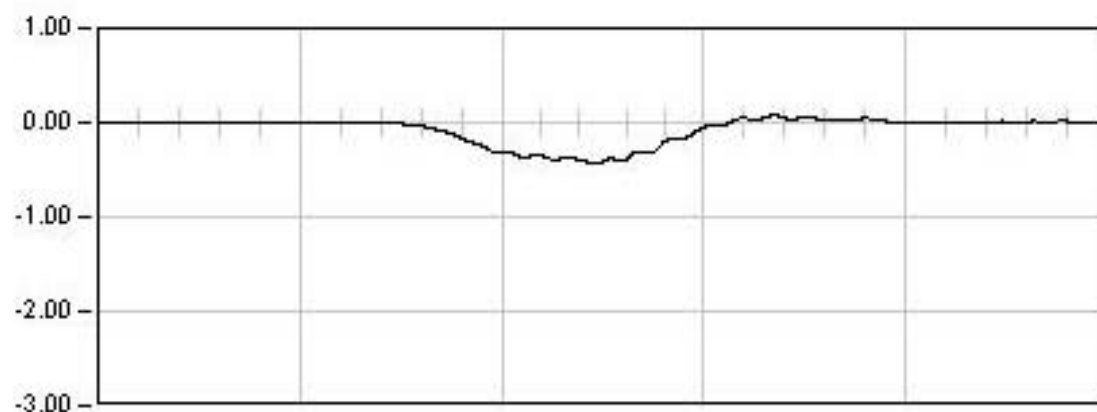
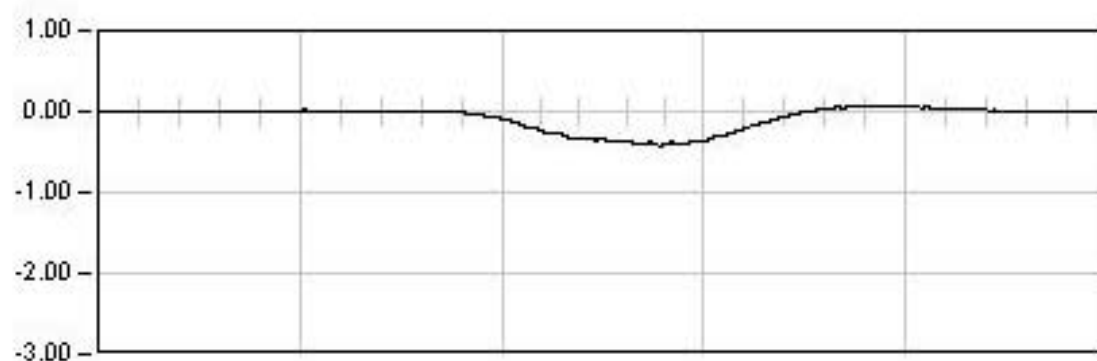
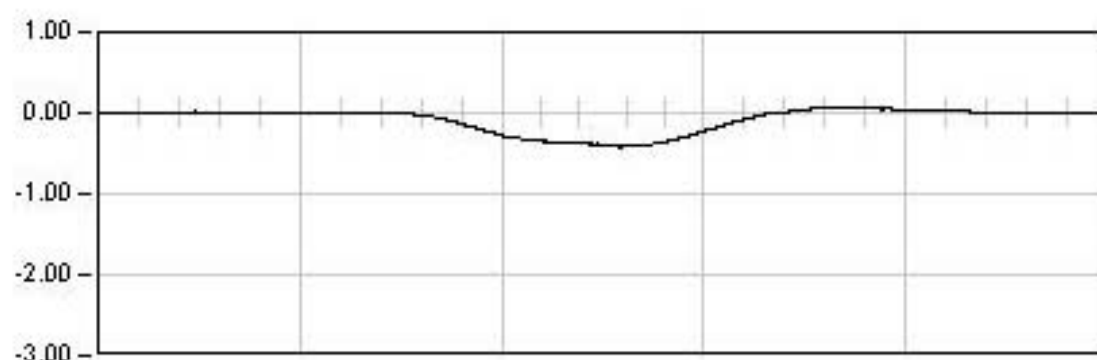
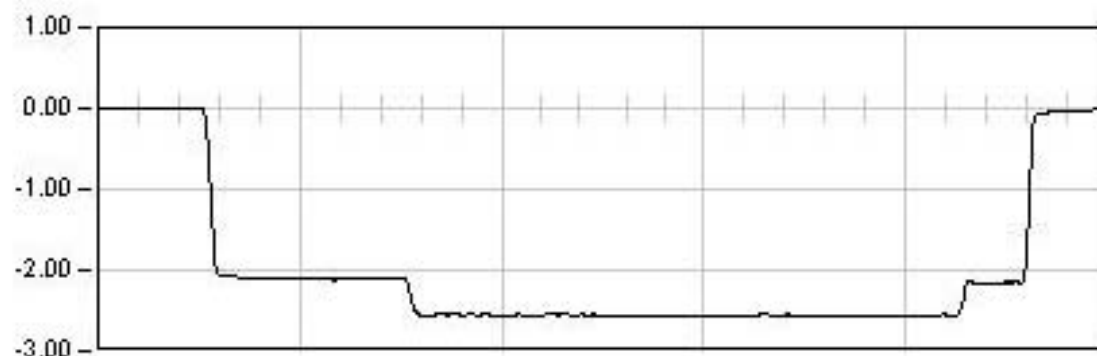
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 2

Punto : M21

Canal : 34

Unidades : mm



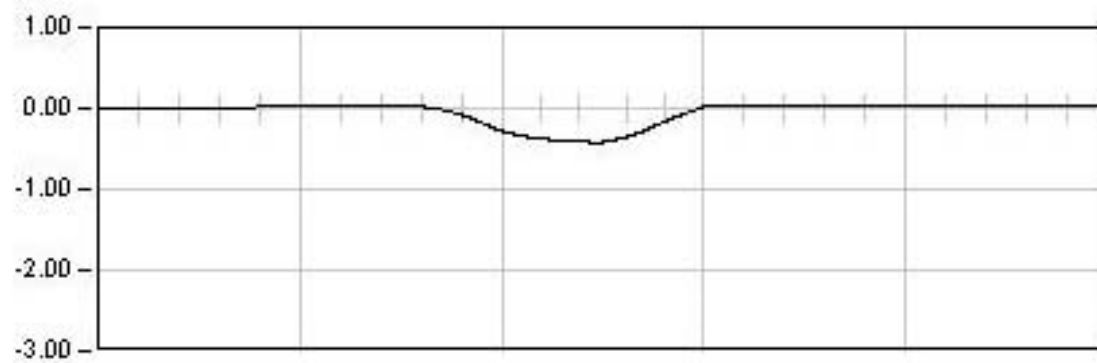
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 2

Punto : M21

Canal : 34

Unidades : mm



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: -0.42

Min: 0.04

Rem: 0.00

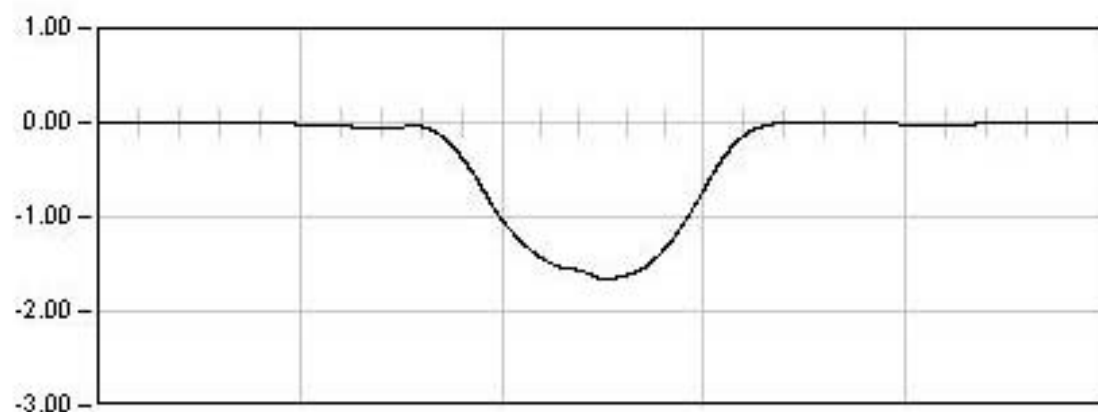
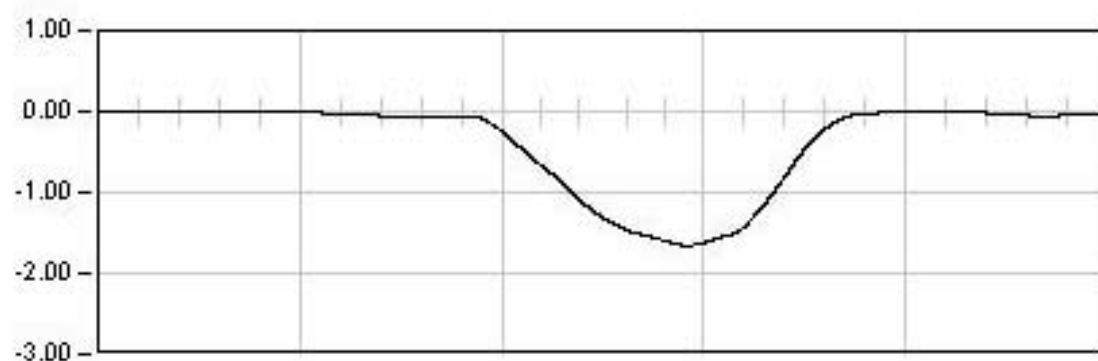
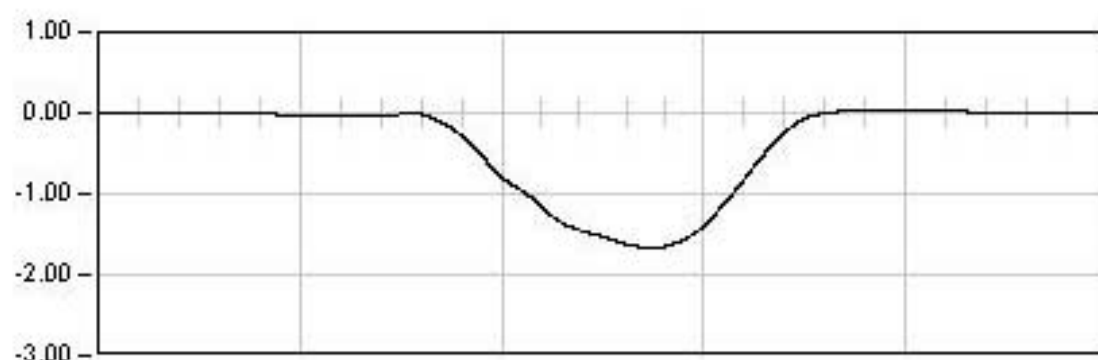
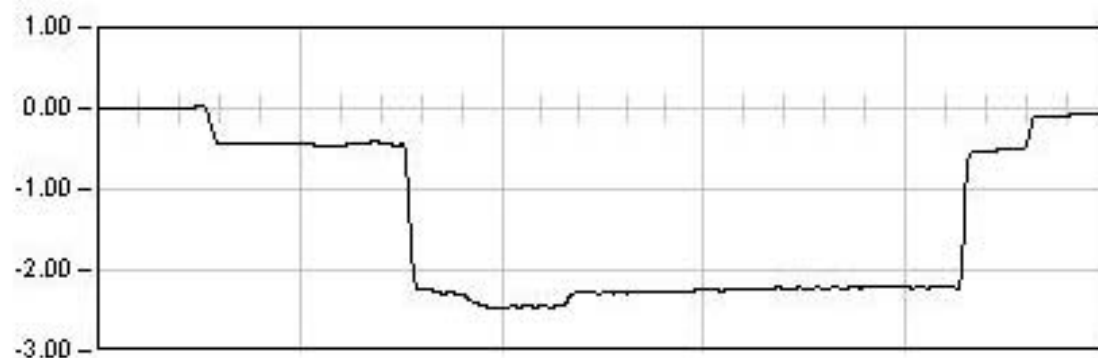
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 2

Punto : M22

Canal : 35

Unidades : mm



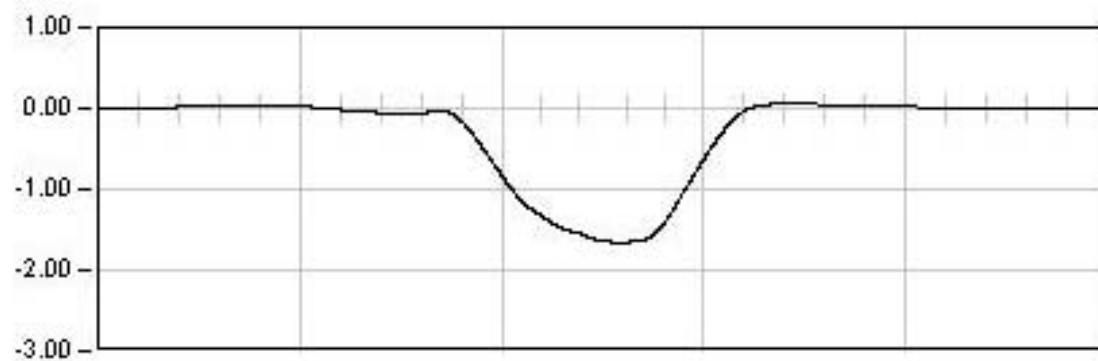
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 2

Punto : M22

Canal : 35

Unidades : mm



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: -1.65

Min: 0.07

Rem: -0.01

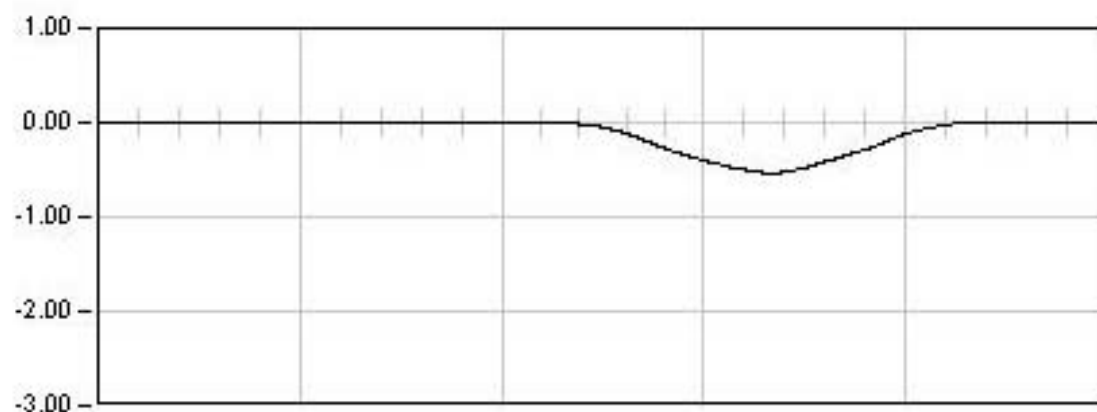
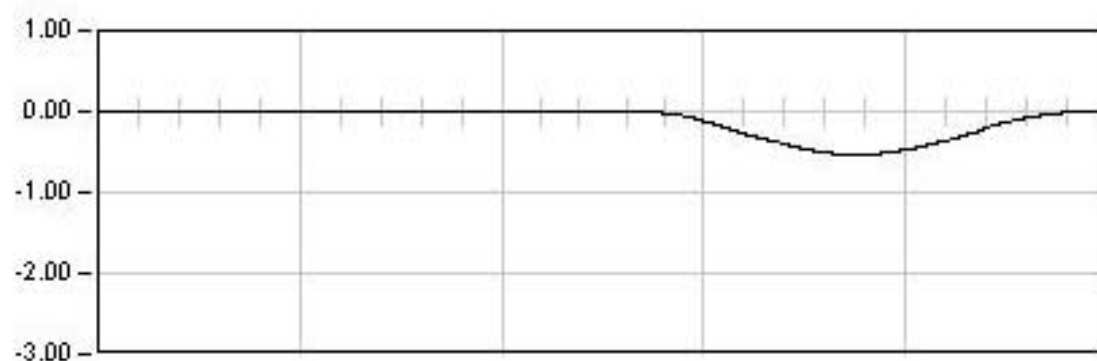
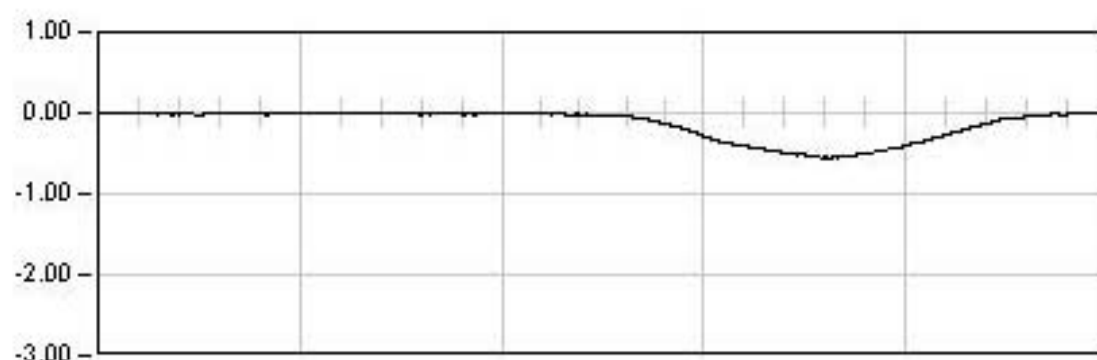
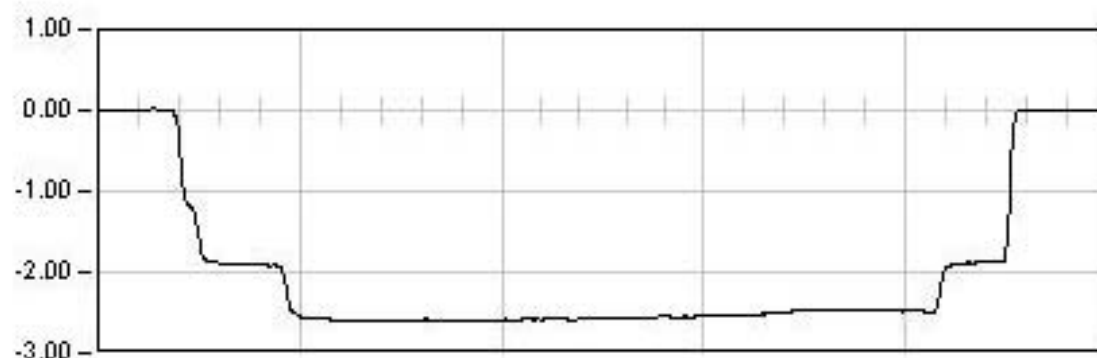
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 3

Punto : M31

Canal : 09

Unidades : mm



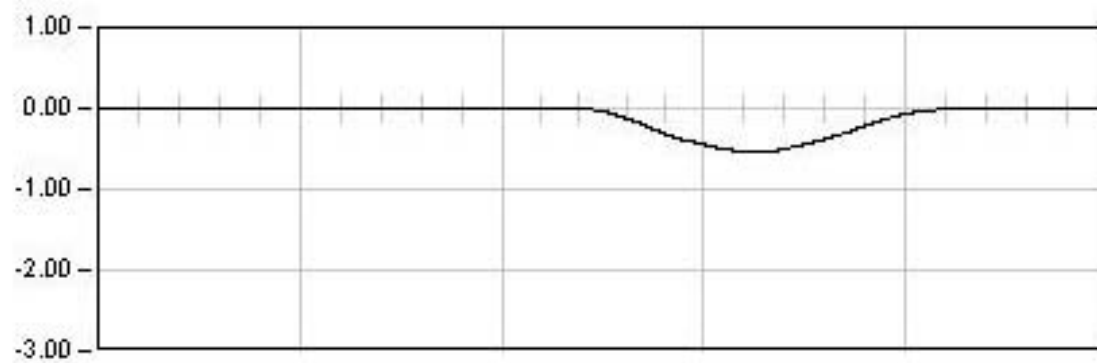
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 3

Punto : M31

Canal : 09

Unidades : mm



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: -0.55

Min: 0.03

Rem: -0.00

03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 3

Punto : M32

Canal : 10

Unidades : mm



ESTATICA 03

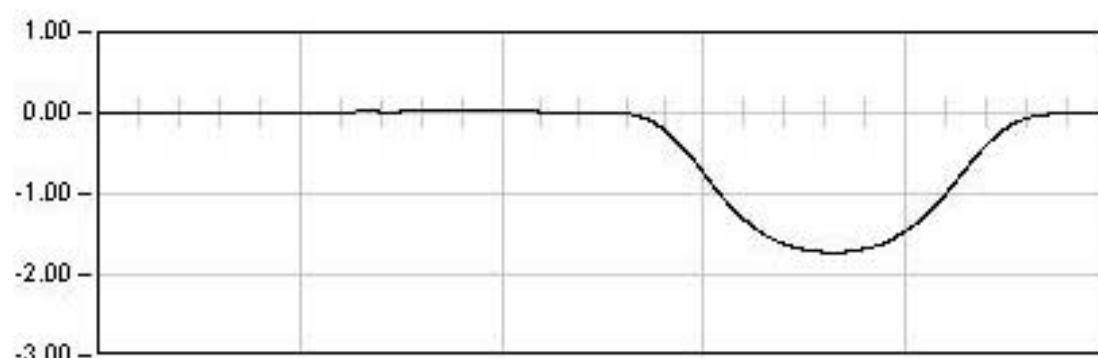
1356.0 Seg

Est: -2.19

Max: -2.26

Min: 0.02

Rem: -0.00



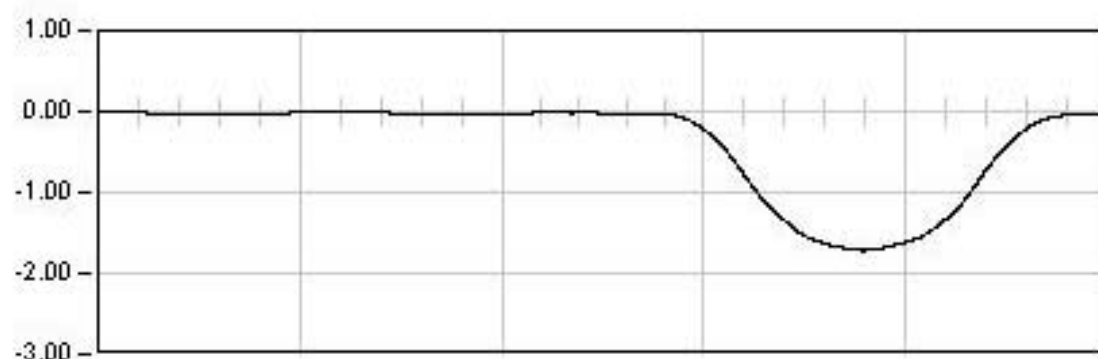
DINAMICA 01

29.0 Seg

Max: -1.72

Min: 0.03

Rem: 0.01



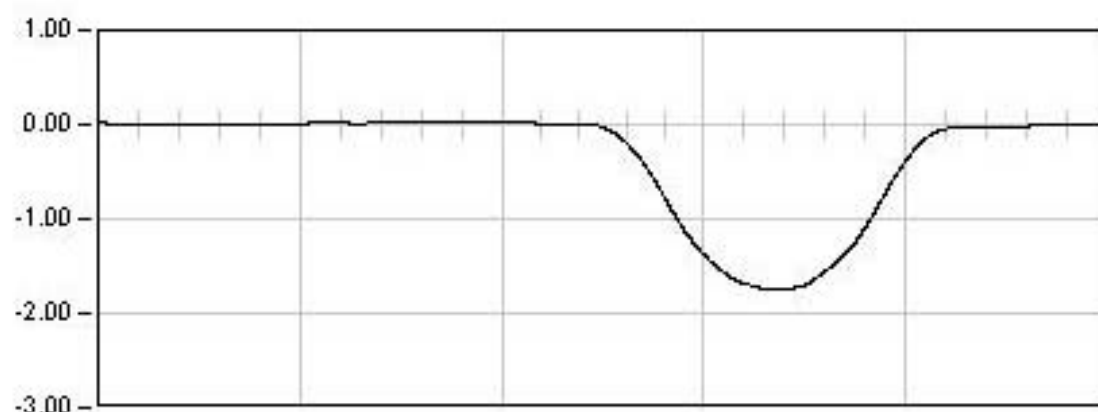
DINAMICA 02

6.0 Seg

Max: -1.72

Min: 0.01

Rem: -0.02



DINAMICA 03

4.0 Seg

Max: -1.75

Min: 0.02

Rem: 0.00

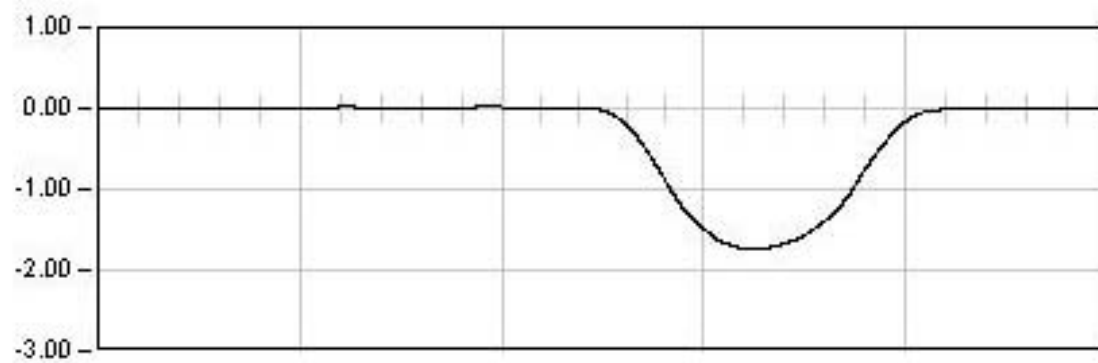
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 3

Punto : M32

Canal : 10

Unidades : mm



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: -1.74

Min: 0.02

Rem: 0.01

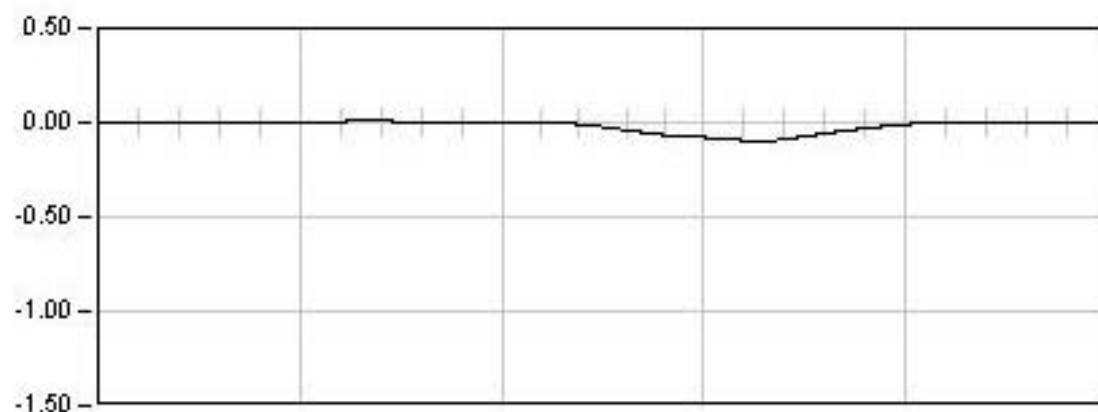
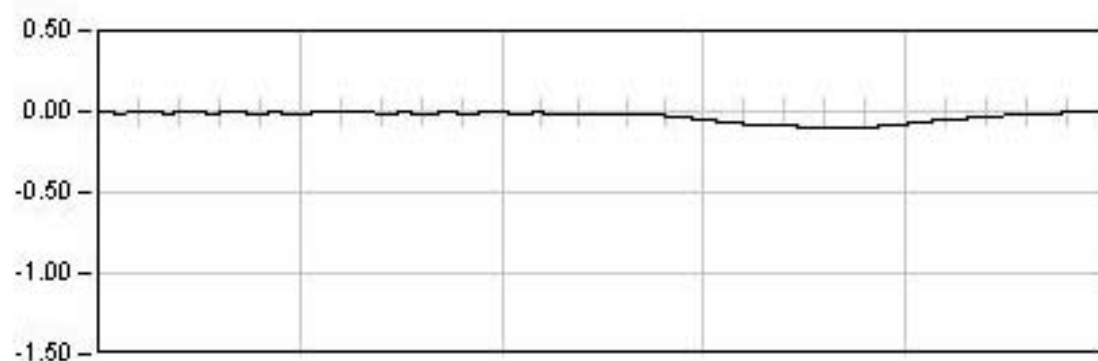
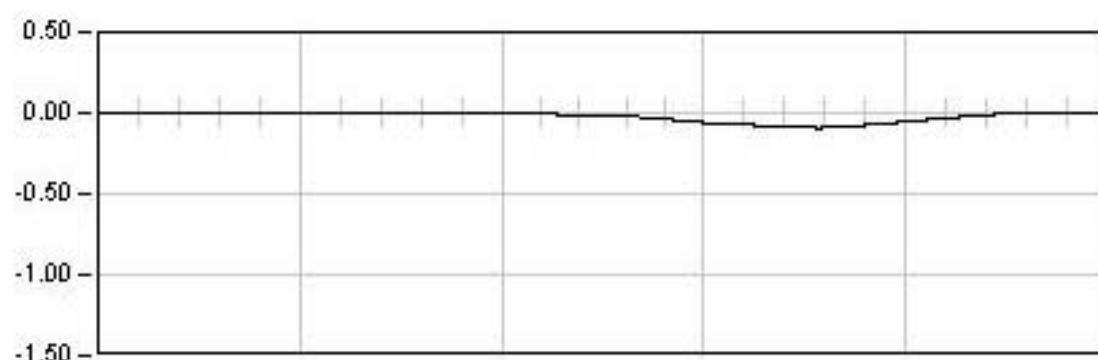
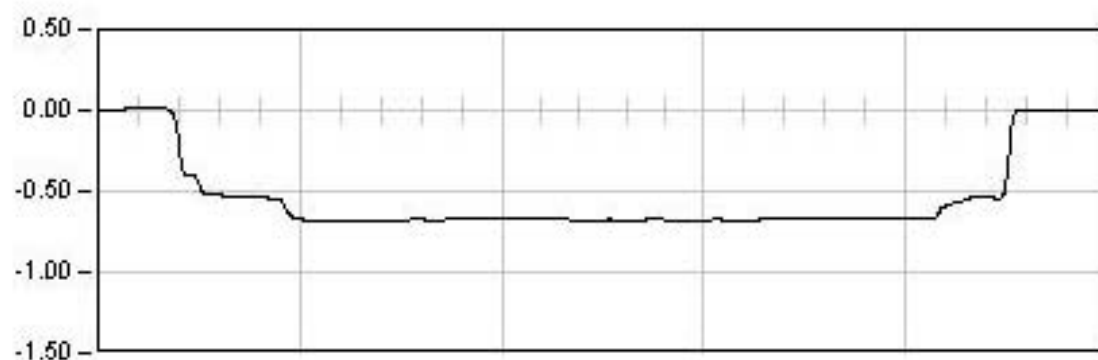
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 3

Punto : M33

Canal : 11

Unidades : mm



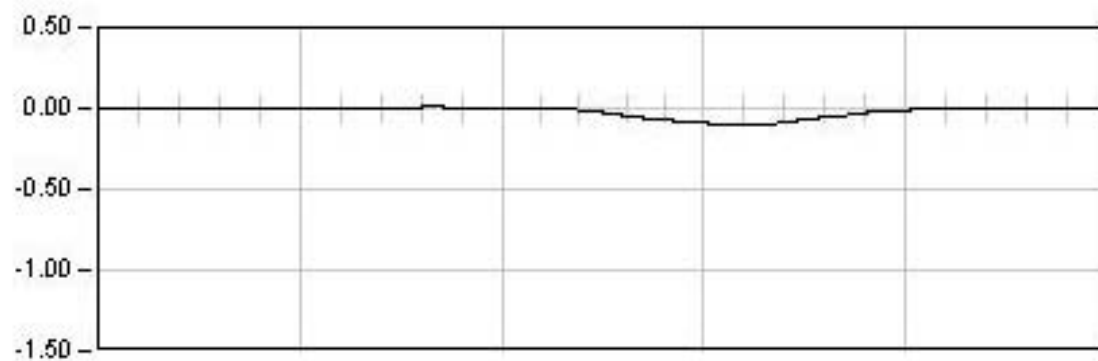
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 3

Punto : M33

Canal : 11

Unidades : mm



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: -0.11

Min: 0.01

Rem: -0.01

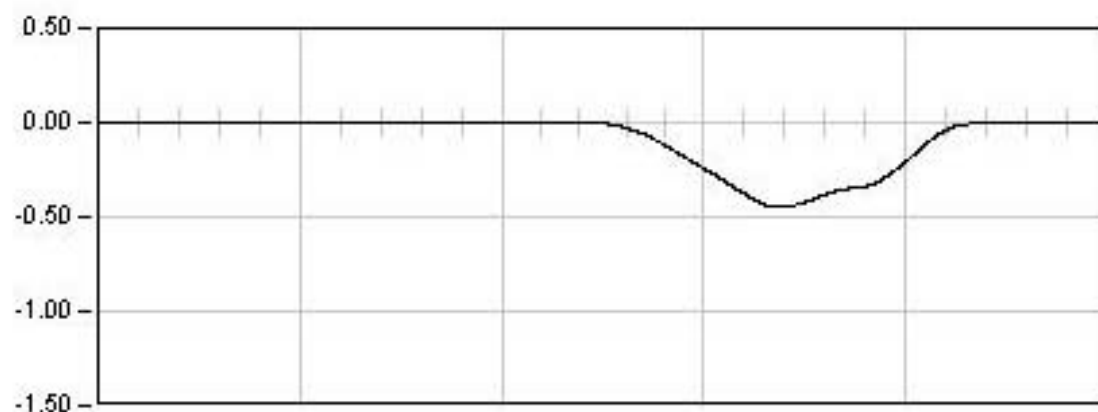
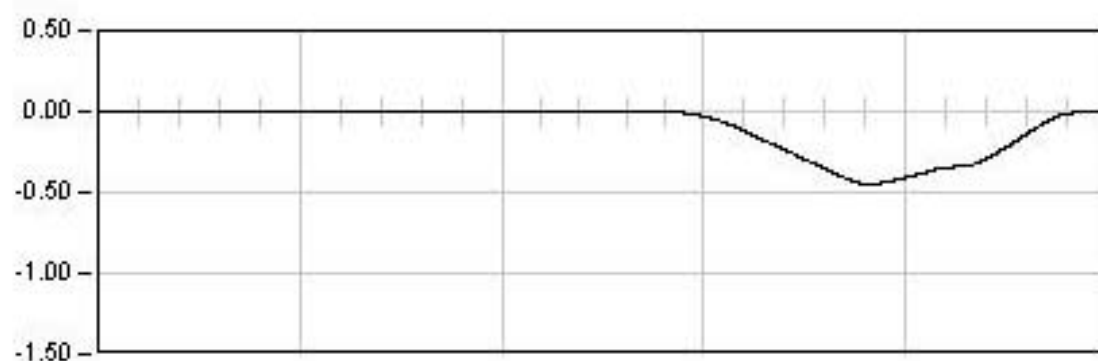
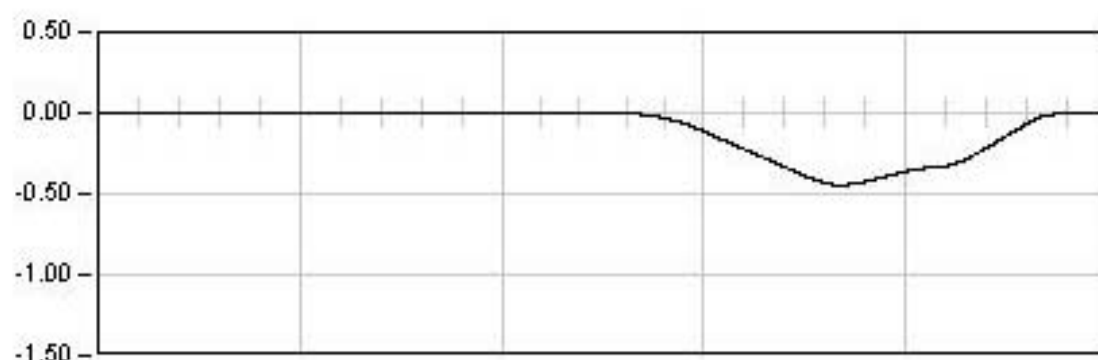
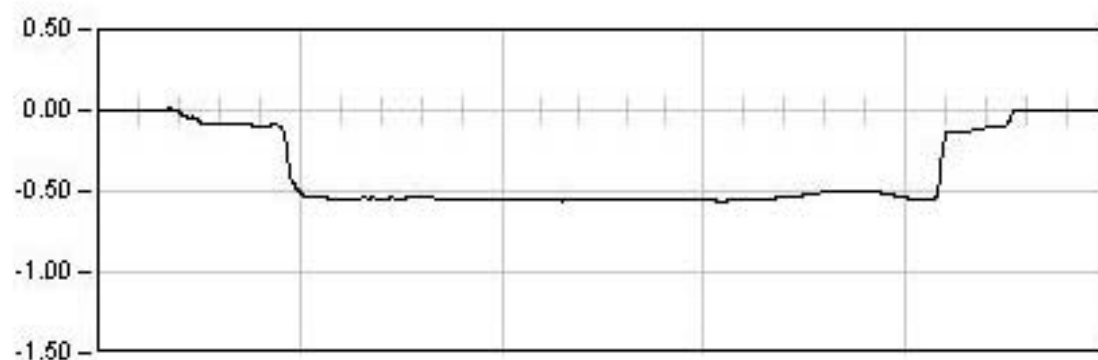
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 3

Punto : M34

Canal : 12

Unidades : mm



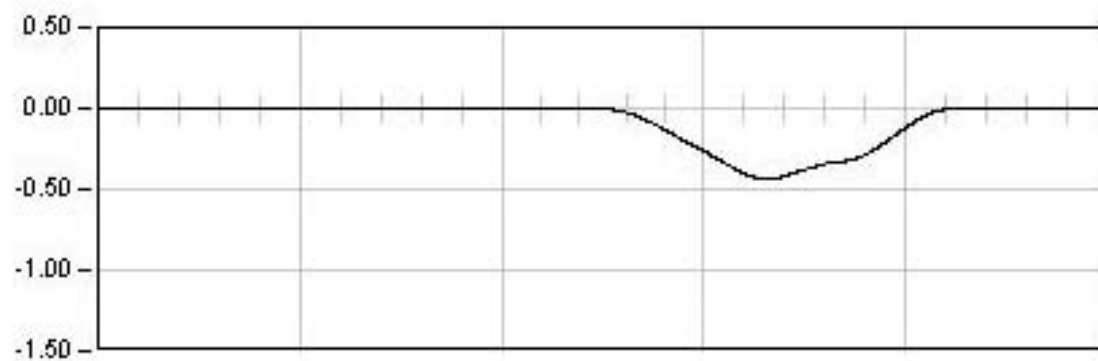
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 3

Punto : M34

Canal : 12

Unidades : mm



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: -0.44

Min: 0.01

Rem: -0.00

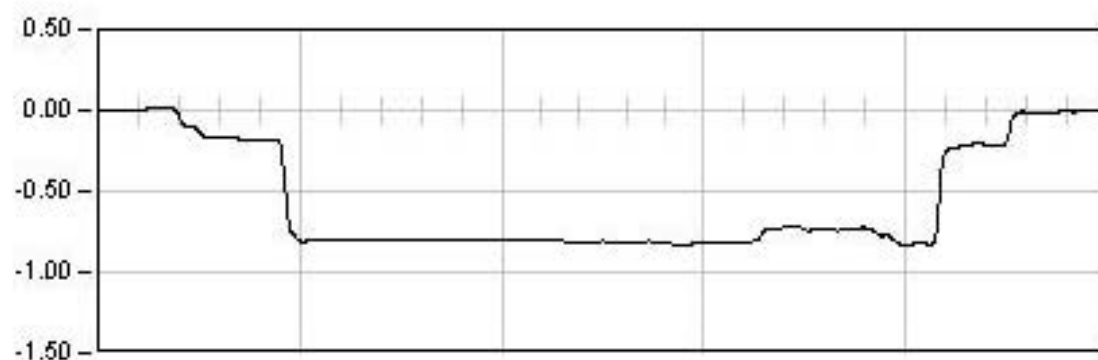
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 3

Punto : M35

Canal : 13

Unidades : mm



ESTATICA 03

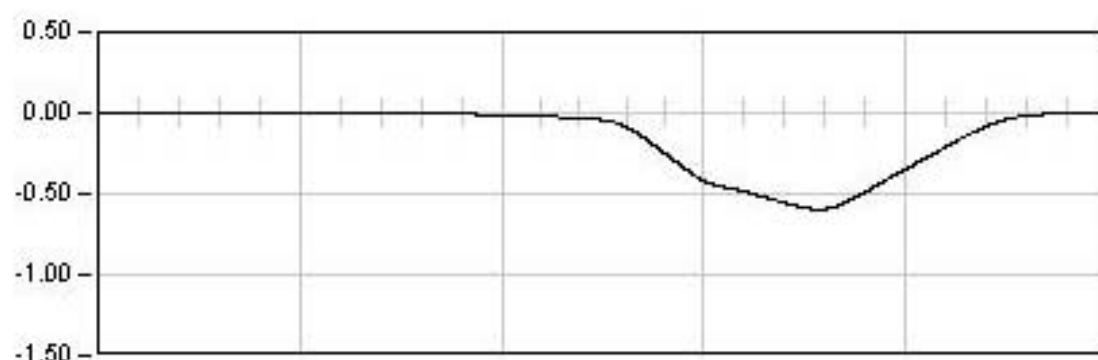
1356.0 Seg

Est: -0.82

Max: -0.83

Min: 0.01

Rem: -0.00



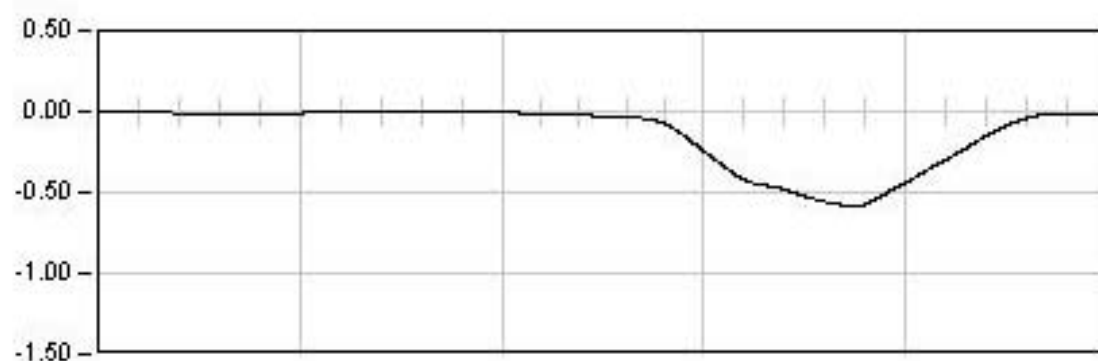
DINAMICA 01

29.0 Seg

Max: -0.60

Min: 0.01

Rem: 0.00



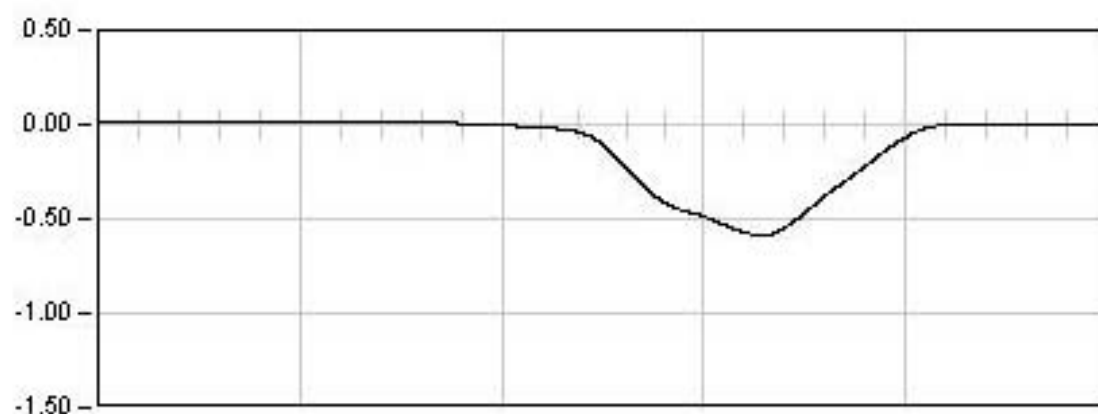
DINAMICA 02

6.0 Seg

Max: -0.59

Min: 0.01

Rem: -0.01



DINAMICA 03

4.0 Seg

Max: -0.59

Min: 0.01

Rem: 0.01

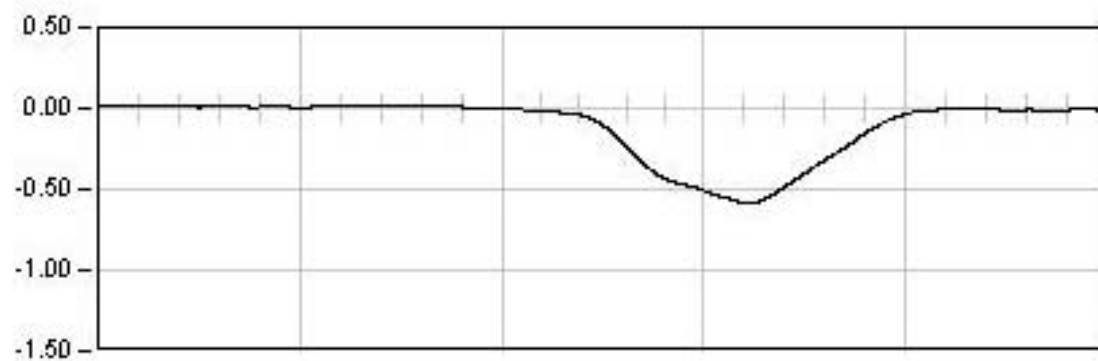
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Yano 3

Punto : M35

Canal : 13

Unidades : mm



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: -0.59

Min: 0.01

Rem: -0.01

03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 3

Punto : G31

Canal : 14

Unidades : μE



ESTATICA 03

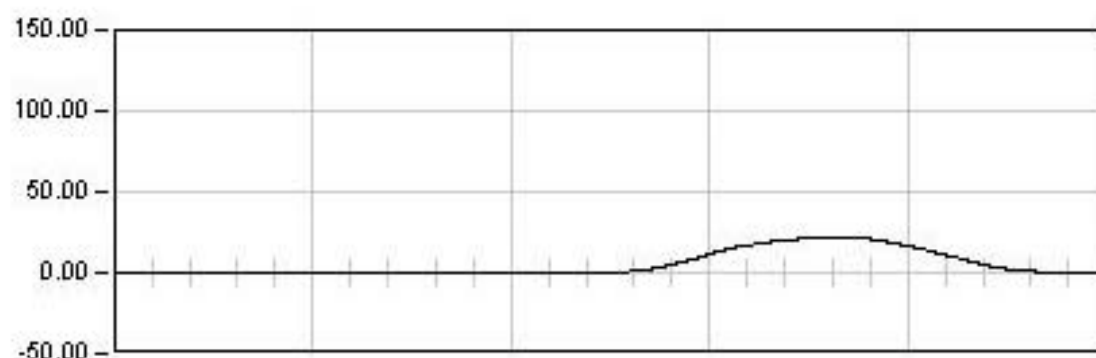
1356.0 Seg

Est: 89.43

Max: 92.21

Min: -0.47

Rem: -0.14



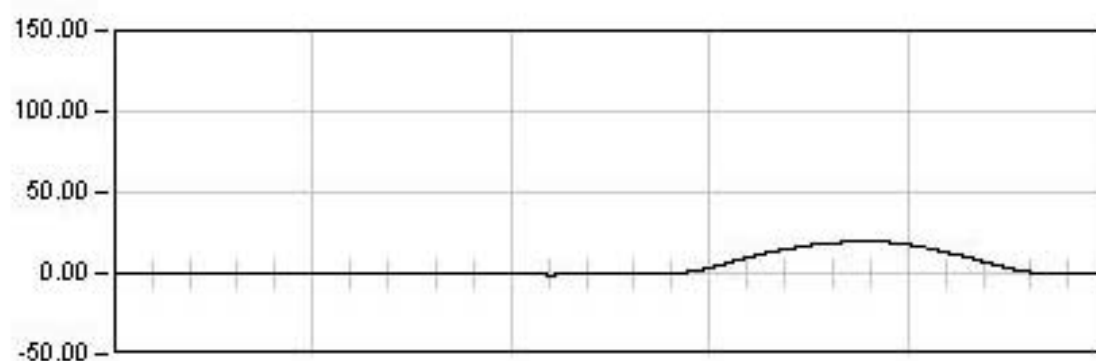
DINAMICA 01

29.0 Seg

Max: 22.35

Min: -0.76

Rem: -0.21



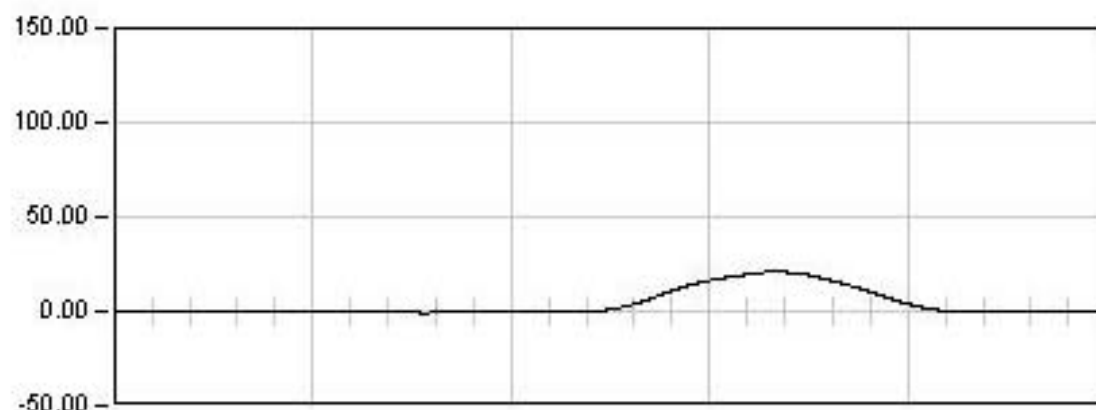
DINAMICA 02

6.0 Seg

Max: 20.37

Min: -1.22

Rem: -0.37



DINAMICA 03

4.0 Seg

Max: 21.15

Min: -0.73

Rem: -0.30

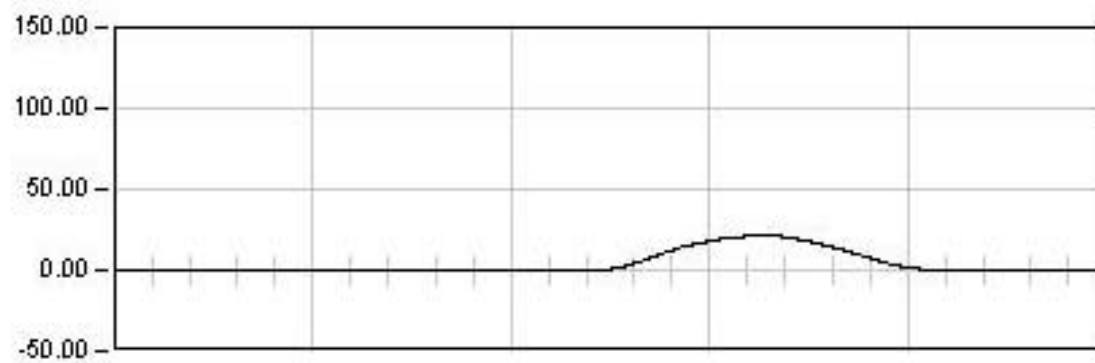
03YI02. BASE DE MADRID SUR

Yano 3

Punto : G31

Canal : 14

Unidades : μ E



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: 21.64

Min: -1.17

Rem: -0.07

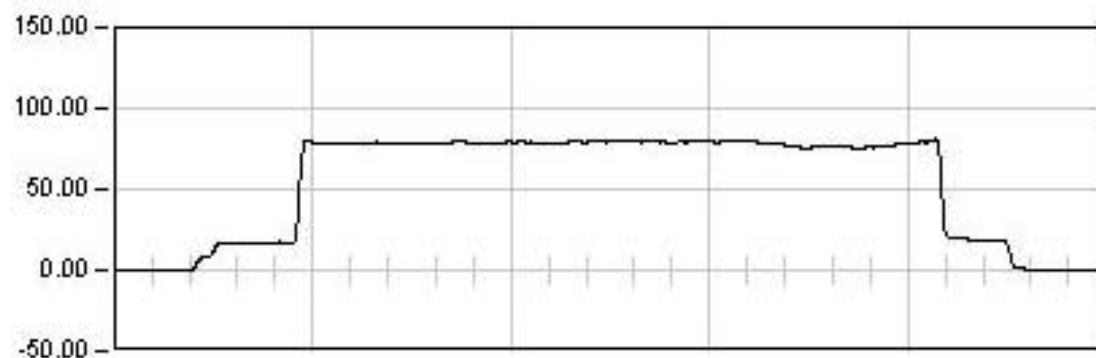
03VI02. BASE DE MADRID SUR

Vano 3

Punto : G32

Canal : 15

Unidades : μE



ESTATICA 03

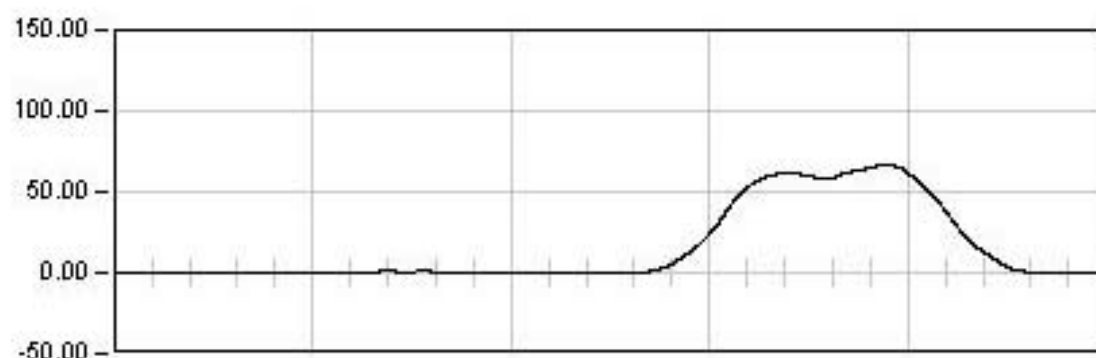
1356.0 Seg

Est: 78.98

Max: 81.22

Min: -0.79

Rem: 0.08



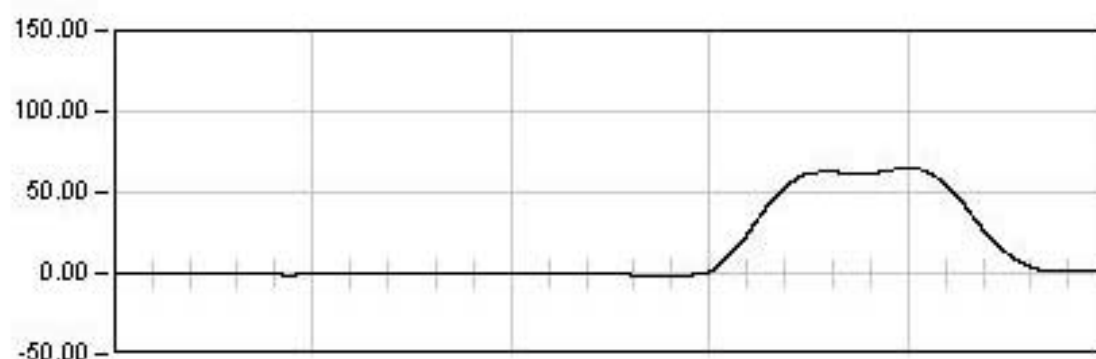
DINAMICA 01

29.0 Seg

Max: 66.38

Min: -0.44

Rem: -0.14



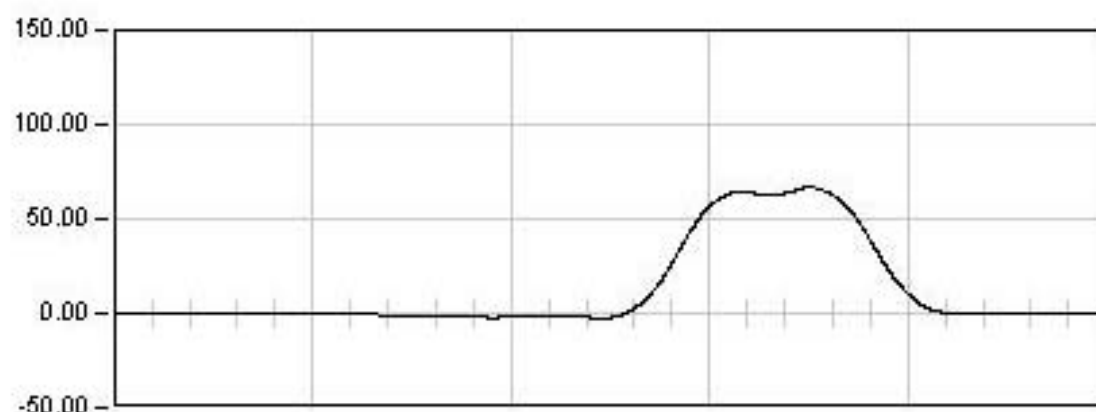
DINAMICA 02

6.0 Seg

Max: 65.15

Min: -2.37

Rem: 0.13



DINAMICA 03

4.0 Seg

Max: 66.82

Min: -3.27

Rem: -0.18

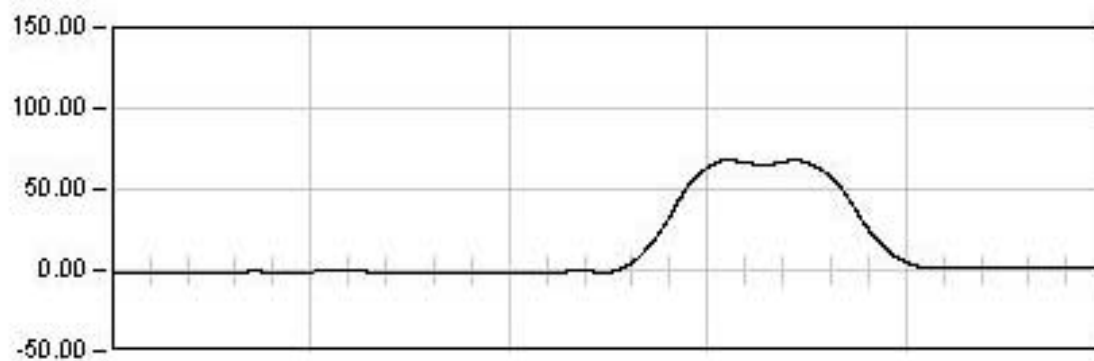
03YI02. BASE DE MADRID SUR

Yano 3

Punto : G32

Canal : 15

Unidades : μ E



DINAMICA 04

5.0 Seg

Max: 67.88

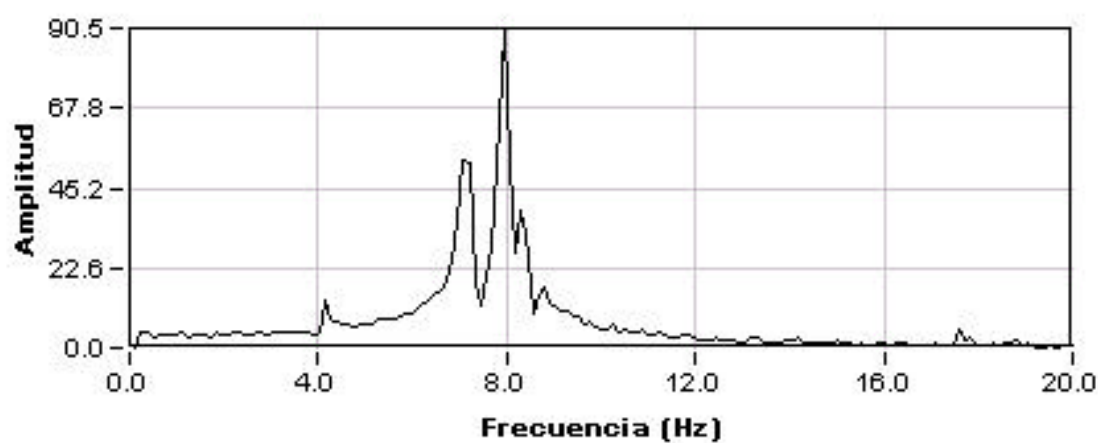
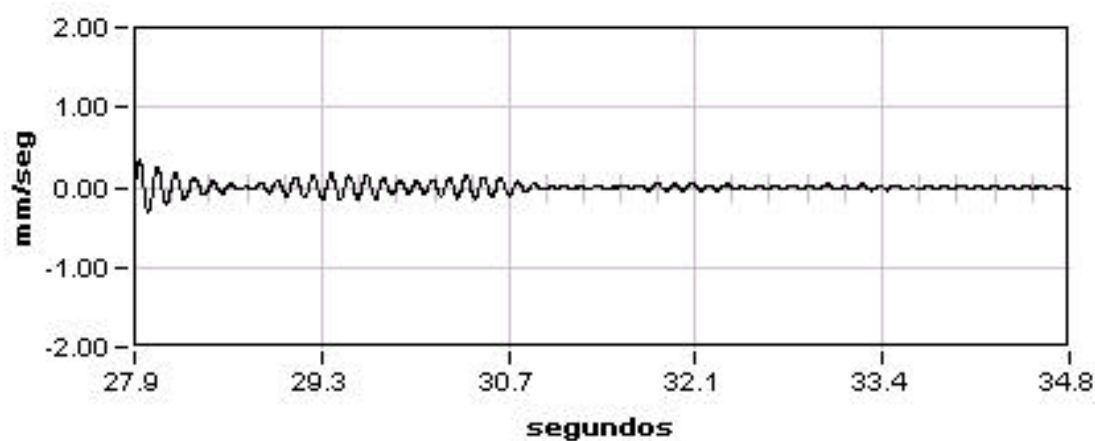
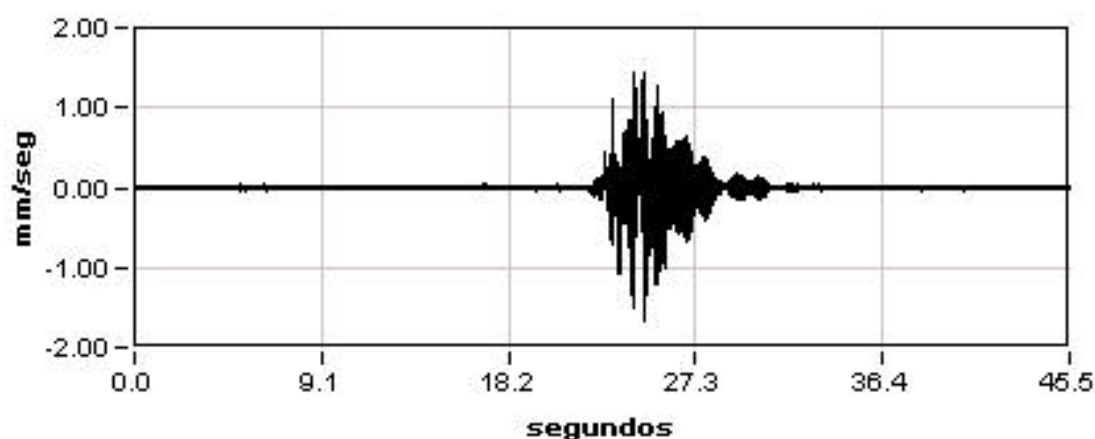
Min: -1.35

Rem: -0.21

03VI02. BASE DE MADRID SUR

VANO 1

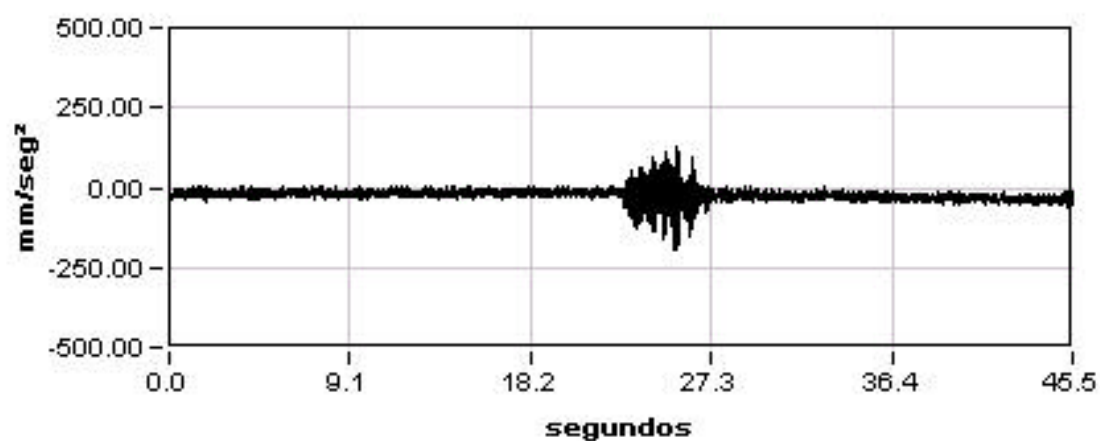
Prueba: din04 Punto: S11 Canal: 27



03VI02. BASE DE MADRID SUR

VANO 2

Prueba: din04 Punto: A21 Canal: 24

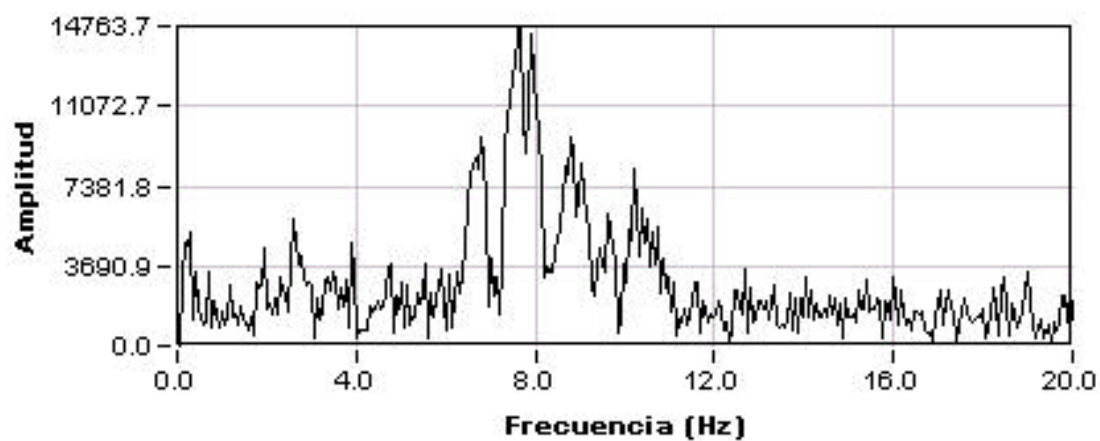
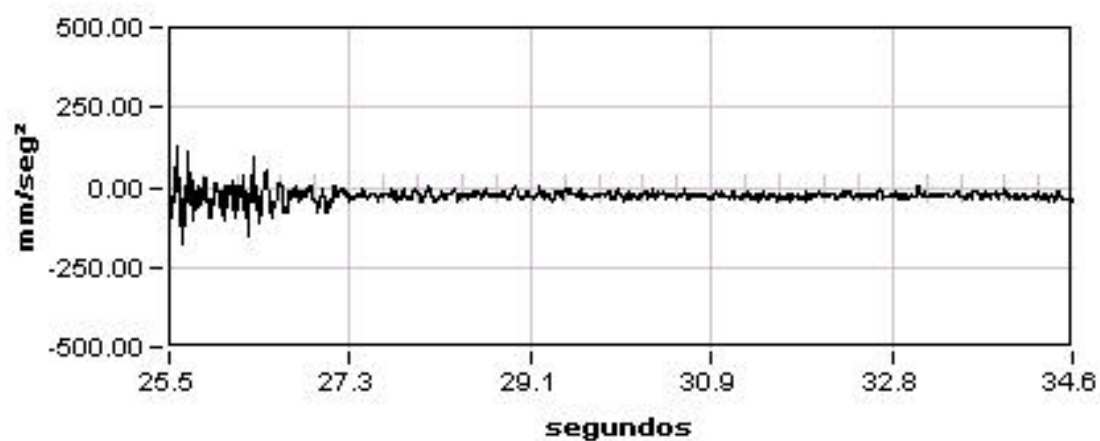


Máximo

-195.44

Mínimo

124.10



Amplitud

14763.66

Frecuencia

7.71

Dec. Logarit.

0.15

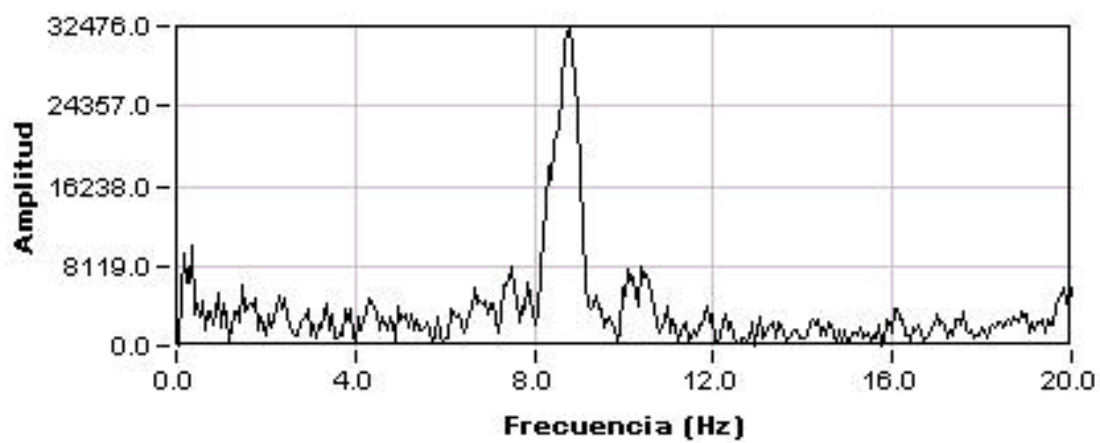
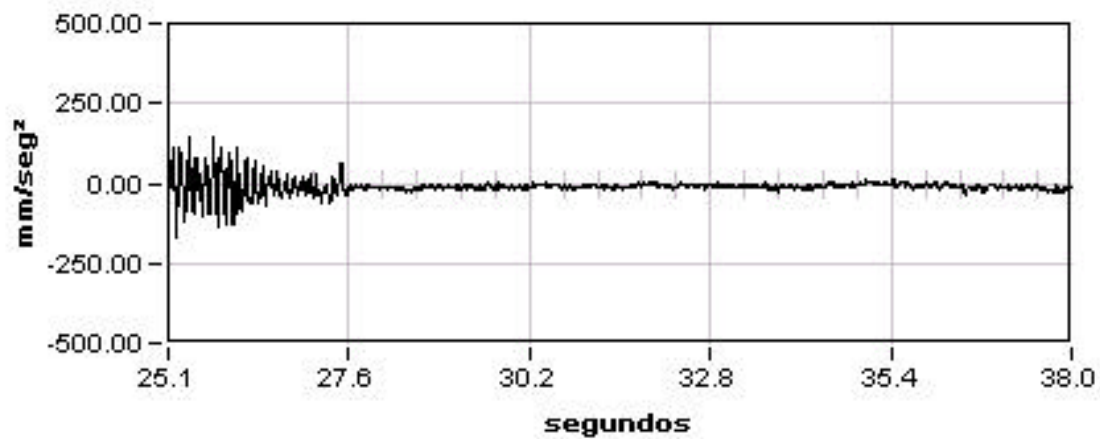
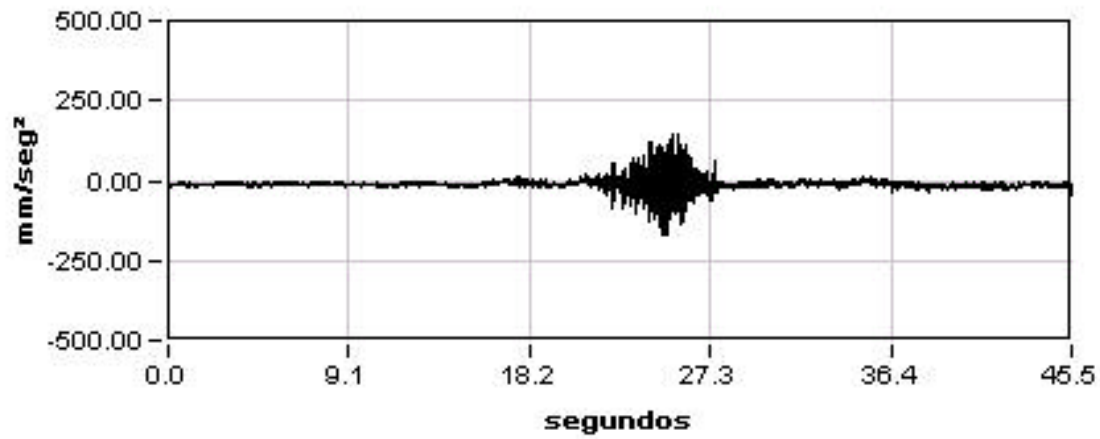
Amortiguac.

2.47 %

03VI02. BASE DE MADRID SUR

VANO 3

Prueba: din04 Punto: A31 Canal: 25



10.5. ANEJO N° 5: REPORTAJE FOTOGRÁFICO



Foto 1: Vista general de la estructura



Foto 2: Vista superior de la estructura



Foto 3: Vista inferior de la estructura



Foto 4: Vista general de estribo



Foto 5: Ensayo estático en vano 1



Foto 6: Línea de ménsulas para la medida de flecha (Vano 1)



Foto 7: Sensor óptico láser para la medida de flecha

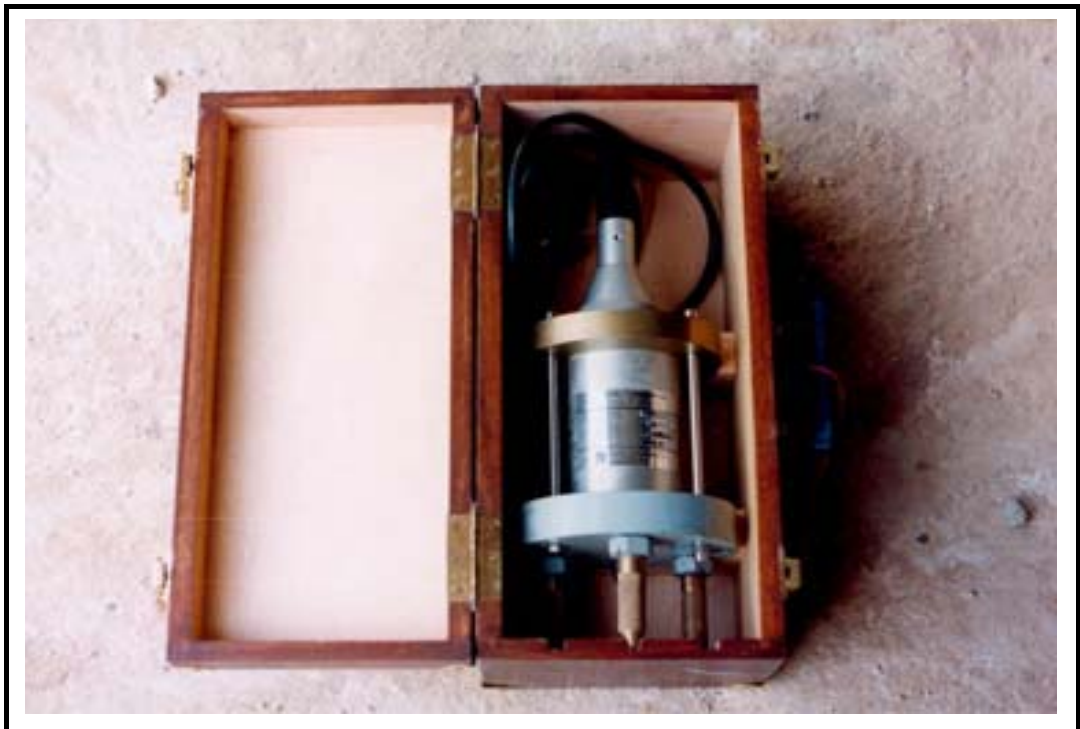


Foto 8: Sismómetro



Foto 9: Acelerómetro



Foto 10: Vista general de acondicionadores y equipo de adquisición



Foto 11: Equipo para la realización de ensayos dinámicos

10.6. ANEJO N° 6: ACTA DE LA PRUEBA DE CARGA

FECHA PRUEBA: 29 de julio de 2002

ACTA DE LA PRUEBA DE CARGA

IDENTIFICACIÓN ESTRUCTURA	
LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD	MADRID - BARCELONA - FRONTERA FRANCESA
TRAMO	Tramo Madrid - Zaragoza, Base de Madrid Sur
P.K.	19+094
IDENTIFICACIÓN INVENTARIO	03VI02
NOMBRE	Viaducto 2
DESCRIPCIÓN ESTRUCTURA	Estructura de 3 vanos isostáticos de (14,16*2+14,14). La sección para cada vano son dos vigas artesa prefabricadas de hormigón pretensado de 0,90 m de canto y de 3,50 m de anchura de cabeza superior. Sobre estas vigas se construye una losa de hormigón armado de 0,30 m de espesor y 14,00 m de anchura apoyada sobre prelosas prefabricadas. Tablero presenta un esviaje de 68,78°.

ASISTENTES	
	ORGANISMO EMPRESA
D. ANDRÉS VICENTE ZAPATA	I.I.C.

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS	
Temperatura	Inicio: 32,2 °C Final: 29,1 °C
Humedad relativa	Inicio: 10,80% Final: 14,20%

INSTRUMENTACIÓN INSTALADA (según Informe de Prueba de Carga para la Recepción)		UNIDADES
CONTROL DE FLECHAS	EQUIPO ÓPTICO LASER	2
	TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO	10
GRADO TENSIONAL DE LAS VIGAS	GALGAS EXTENSOMÉTRICAS	4
REGISTRO DE VIBRACIONES	SISMÓMETRO	1
	ACELERÓMETROS	2

TRENES DE CARGA UTILIZADOS					
	VEHÍCULO	NÚMERO	TIPO	PESO UNITARIO (t)	PESO TOTAL (t)
C1: COMPOSICIÓN UTILIZADA EN VÍA 1 (CIRCULACIÓN MADRID - ZARAGOZA)	LOCOMOTORA	1	SERIE 060	19,6	117,6
C2: COMPOSICIÓN UTILIZADA EN VÍA 2 (CIRCULACIÓN MADRID-ZARAGOZA)	LOCOMOTORA	1	SERIE 060	19,6	117,6

SENTIDO CIRCULACIÓN PARA PRUEBAS DIÁMICAS: MADRID-ZARAGOZA

PRUEBAS DE CARGA REALIZADAS						
	VELOCIDAD	COMPOSICIÓN UTILIZADA VÍA 1		COMPOSICIÓN UTILIZADA VÍA 2		
		HORA COMIENZO	HORA FINAL	HORA COMIENZO	HORA FINAL	
Prueba estática EST00 (Vano 1)		C1 22:21	22:39	C2 22:21	22:39	
Prueba estática EST02 (Vano 2)		C1 23:09	23:29	C2 23:09	23:29	
Prueba estática EST03 (Vano 3)		C1 22:40	23:03	C2 22:40	23:03	
Prueba cuasi-estática DIN01	8,5 km/h	C1		C2 21:55	21:57	
Prueba a velocidad media DIN02	43,4 km/h	C1		C2 22:02	22:03	
Prueba a máxima velocidad DIN03	70,2 km/h	C1		C2 22:08	22:09	
Prueba de frenado a máxima velocidad DIN04		C1		C2 22:15	22:16	

RESULTADOS BÁSICOS ALCANZADOS EN LA ESTRUCTURA	
Resultados prueba	Acordes con los teóricos previstos en el Proyecto de Prueba de Carga
Recuperaciones	Superiores al 90 % en todos los casos
Anomalías detectadas en la inspección visual previa	En elementos estructurales solamente existen algunos defectos con incidencia en la estética.
Anomalías detectadas durante el proceso de carga y al final del mismo	Ninguna
Otros datos de interés	Ninguno
Comportamiento resistente de la estructura	Correcto durante la realización de las pruebas de carga
Observaciones	Ninguna


GRUPO EP

D. ANDRÉS VICENTE ZAPATA
por I.I.C.

10.7. ANEJO N° 7: FICHA DE SEGUIMIENTO

INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

SITUACIÓN DE LOS ARCHIVOS	La información de cada estructura en una carpeta con el nombre del ID (Identificador de la estructura). Por ej. "D:\28VI31\"
NOMBRE DEL ARCHIVO DE LA INSPECCIÓN	El ID (Identificador de la estructura). Por ej. "28VI31.xls" dentro de la carpeta "D:\28VI31\", es decir, "D:\28VI31\28VI31.xls"
PARA TODAS LAS HOJAS	Si no existe la opción deseada añadirla en observaciones. Si no existe el concepto a puntuar dejarlo en blanco.
HOJA DE IDENTIFICACIÓN	Indicar que PK's se utilizan
PUNTUACIONES ESTADO:	
Blanco: No existen elementos	No se rellena porque no existe el elemento. Por ej. No hay pilas. No se rellena la hoja
0: No existen	No existe defecto
1: Defectos con incidencia en la estética	Defectos sin casi consecuencias, con prácticamente exclusiva incidencia en la estética
2: Defectos con riesgo de evolución patológica	Defectos que indican que la estructura pudiera correr el riesgo de tener una evolución patológica
3: Defectos inicio evolución patológica	Defectos que indican el comienzo de una evolución patológica
4: Defectos con evolución patológica	Defectos que indican que una evolución patológica se está produciendo
5: Defectos con modificación del comportamiento	Defectos que se pueden traducir en una modificación del comportamiento de la estructura, o de parte de la misma, aunque aún pueda permanecer en servicio
FOTOGRAFÍAS	En formato JPG con calidad y menor tamaño posible. Color verdadero de 640x480. Tamaño comprimido recomendado menor de 50 KB. El nombre de la fotografía será el de la estructura y un número de 2 dígitos empezando en 01. Por ej. 28VI3101.jpg, 28VI3102.jpg, 28VI3103.jpg, etc. Se incorporarán en la carpeta de la inspección cuyo nombre será el de la estructura "D:\28VI31\", es decir, "D:\28VI31\28VI3101.jpg", "D:\28VI31\28VI3102.jpg", "D:\28VI31\28VI3103.jpg", etc.

INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

IDENTIFICACIÓN

ID (Identificador de la estructura)	03VI02	
P.K. INICIAL (sentido Madrid-Barcelona)	19+094	
P.K. FINAL (sentido Madrid-Barcelona)	19+139	
TIPO	Puente (10 m < luz <= 50 m)	▼
SUBTRAMO	MADRID-GAJANEJOS: II	▼
FECHA DE LA INSPECCIÓN	11/04/02	
OBSERVACIONES		

INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

ID (Identificador de la estructura)
FECHA DE LA INSPECCIÓN

03VI02
11/04/02

DATOS GENERALES

NOMBRE	VIADUCTO 2	
TIPOLOGÍA GENERAL	TABLERO DE VIGAS	▼
TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL	VANOS DISCONTINUOS	▼
Nº DE VÍAS	2	
VELOCIDAD MÁXIMA (km/h)		
TIPO DE ACCESO	VEHÍCULO AUTOMOVIL	▼
OBSTÁCULO SALVADO	FERROCARRIL	▼
NOMBRE OBSTÁCULO SALVADO	LINEA 9 DEL METROPOLITANO DE MADRID	
OTRO OBSTÁCULO SALVADO	CAMINO, VÍA PECUARIA O PASO DE FAUNA	▼
NOMBRE OTRO OBSTÁCULO SALVADO	CAMINO DE SERVICIO DE LA L.A.V. MADRID - BARCELONA	
OBSERVACIONES		

INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTA FRANCESA

ID (Identificador de la estructura) 03VI02
FECHA DE LA INSPECCIÓN 11/04/02

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS

LONGITUD TOTAL (m)	48,00		
Nº DE VANOS	3		
LONGITUD MEDIA DEL VANO (m)	16,00		
LUZ DE CADA VANO (m)	16*3		
ALTURA MÁXIMA DE ESTRIBOS (m)	11,00		
ANCHURA MÁXIMA DE ESTRIBOS (m)	15,00		
ALTURA MÁXIMA DE PILAS (m)	6,50		
ANCHURA MÁXIMA DE PILAS (m)	1,80		
ESPESOR MÁXIMO DE PILAS (m)			
GÁLIBO INFERIOR (m)	4,85		
ANCHURA MÁXIMA DE TRAMOS (m)	14,00		
CANTO MÁXIMO DE TRAMOS EN CENTRO DE VANOS (m)	1,20		
Nº DE ELEMENTOS PRINCIPALES EN EL TRAMO	2		
SEPARACIÓN ENTRE ELEMENTOS PRINCIPALES (m)	6,30		
CANTO DE ELEMENTOS PRINCIPALES	CONSTANTE	▼	
CANTO MÁXIMO DE ELEMENTOS PRINCIPALES EN CENTRO DE VANOS (m)	0,90		
GÁLIBO IZQUIERDO (m)	3,80		
GÁLIBO DERECHO (m)	3,80		
ENTREVÍA (m)	4,30		
TRAZADO DE VÍA EN PLANTA (m)		R (recto)	▼
PERALTE DE VÍA DE ENTRADA (m)			
PERALTE DE VÍA DE CENTRO (m)			
PERALTE DE VÍA DE SALIDA (m)			
OBSERVACIONES			

INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

ID (Identificador de la estructura)
FECHA DE LA INSPECCIÓN

03VI02
11/04/02

MATERIALES

MATERIAL CONSTITUYENTE

HORMIGÓN PRETENSADO ▼

TRAMOS

TIPOLOGÍA DE TRAMOS

TABLERO DE VIGAS ▼

TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL DE TRAMOS

VANOS DISCONTINUOS ▼

MATERIAL EN TRAMOS

HORMIGÓN PRETENSADO ▼

IMPERMEABILIZACIÓN DE ESTRUCTURA DE TRAMOS

SI ▼

ELEMENTOS DE DRENAJE EN TRAMOS

LONGITUDINALES ▼

ESTRIBOS

TIPOLOGÍA DE ESTRIBOS

MUROS FRONTAL Y EN VUELTAS ▼

MATERIAL BASE EN ESTRIBOS

HORMIGÓN ARMADO O EN MASA ▼

PROTECCIÓN EN PIE DE ESTRIBOS

NO EXISTE ▼

TIPOLOGÍA DE CIMENTACIÓN EN ESTRIBOS

CIMENTACIÓN DIRECTA ▼

MATERIAL BASE EN CIMENTACIÓN DE ESTRIBOS

HORMIGÓN ARMADO O EN MASA ▼

PILAS

TIPOLOGÍA DE PILAS

PILA PILOTE ▼

SECCIÓN DE PILAS

CONSTANTE ▼

TAJAMARES

NO ▼

MATERIAL BASE EN PILAS

HORMIGÓN ARMADO O EN MASA ▼

TIPOLOGÍA DE CIMENTACIÓN EN PILAS

PILA PILOTE ▼

MATERIAL BASE EN CIMENTACIÓN DE PILAS

HORMIGÓN ARMADO O EN MASA ▼

APARATOS Y JUNTAS DE DILATACIÓN

APARATOS DE APOYO

TIPO POT ▼

JUNTAS DE DILATACIÓN

SOBRE PILAS Y EN ESTRIBOS ▼

TIPOLOGÍA DE JUNTAS DE DILATACIÓN

GUARDAVIVOS Y CUBREJUNTAS ▼

APARATOS DE DILATACIÓN DE CARRILES

▼

VARIOS

PASEOS DE SERVICIO

AMBOS LADOS ▼

OBSERVACIONES

INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTA FRANCESA

ID (Identificador de la estructura)
FECHA DE LA INSPECCIÓN

03VI02
11/04/02

ESTADO ACTUAL ESTRIBOS

Punzonado bajo apoyos		▼
Daños en unión frente y laterales		▼
Juntas degradadas	0: No existen defectos	▼
Golpes y roturas	1: Defectos con incidencia en la estética	▼
Fisuras y grietas	1: Defectos con incidencia en la estética	▼
Coqueras y nidos de grava	1: Defectos con incidencia en la estética	▼
Meteorización y degradación		▼
Desprendimientos		▼
Carbonatación y desagregación		▼
Armaduras vistas someras		▼
Corrosión y disgregación		▼
Humedades y filtraciones	1: Defectos con incidencia en la estética	▼
Incrustaciones calcáreas y eflorescencias	1: Defectos con incidencia en la estética	▼
Desagüe de mechinales		▼
Abombamientos		▼
Desplomes o basculamientos		▼
Asentamientos		▼
Descalces		▼
Socavaciones		▼
Depósitos en coronación		▼
Daños en coronación		▼
Daños en espaldón		▼
Balasto encastrado		▼
Daños en protección de pie de estribos		▼
Daños en cimentaciones vistas		▼
Vegetación aflorando		▼
Vegetación adosada		▼

OBSERVACIONES ESTRIBOS

ESTADO GENERAL ESTRIBOS

1: Defectos con incidencia en la estética



INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

ID (Identificador de la estructura)

03VI02

FECHA DE LA INSPECCIÓN

11/04/02

ESTADO ACTUAL ALETAS O MUROS DE ACOMPAÑAMIENTO

Daños en unión frente y laterales	▼
Juntas degradadas	▼
Golpes y roturas	▼
Fisuras y grietas	▼
Coqueras y nidos de grava	▼
Meteorización y degradación	▼
Desprendimientos	▼
Carbonatación y desagregación	▼
Armaduras vistas someras	▼
Corrosión y disgregación	▼
Humedades y filtraciones	▼
Incrustaciones calcáreas y eflorescencias	▼
Desagüe de mechinales	▼
Abombamientos	▼
Desplomes o basculamientos	▼
Asentamientos	▼
Descalces	▼
Socavaciones	▼
Depósitos en coronación	▼
Daños en coronación	▼
Daños en protección de pie de estribos	▼
Daños en cimentaciones vistas	▼
Vegetación aflorando	▼
Vegetación adosada	▼
OBSERVACIONES ESTRIBOS	
ESTADO GENERAL ALETAS	▼

INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

ID (Identificador de la estructura)
FECHA DE LA INSPECCIÓN

03VI02

11/04/02

ESTADO ACTUAL PILAS

Punzonado bajo apoyos		▼
Daños en unión frente y laterales		▼
Juntas degradadas		▼
Golpes y roturas	2: Defectos con riesgo de evolución patológica	▼
Fisuras y grietas		▼
Coqueras y nidos de grava		▼
Meteorización y degradación		▼
Desprendimientos		▼
Carbonatación y desagregación		▼
Armaduras vistas someras		▼
Corrosión y disgregación		▼
Humedades y filtraciones	1: Defectos con incidencia en la estética	▼
Incrustaciones calcáreas y eflorescencias	1: Defectos con incidencia en la estética	▼
Abombamientos		▼
Desplomes o basculamientos		▼
Asentamientos		▼
Descalces		▼
Socavaciones		▼
Depósitos en coronación		▼
Daños en coronación		▼
Daños en cimentaciones vistas		▼
Vegetación aflorando		▼
Vegetación adosada		▼

OBSERVACIONES PILAS

ESTADO GENERAL PILAS

1: Defectos con incidencia en la estética



INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

ID (Identificador de la estructura)
FECHA DE LA INSPECCIÓN

03VI02
11/04/02

ESTADO ACTUAL APARATOS DE APOYO

Envejecimiento		▼
Corrosión		▼
Suciedad y aterramiento		▼
Bloqueo o encastramiento		▼
Desplazamiento o deslizamiento		▼
Aplastamiento		▼
Reglaje incorrecto		▼
Desnivelaciones		▼
Falta de contacto		▼
Cunas de apoyo deterioradas		▼
Vegetación adosada		▼

OBSERVACIONES APARATOS DE APOYO

ESTADO GENERAL APARATOS DE APOYO

0: No existen ▼

INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTA FRANCESA

ID (Identificador de la estructura)
FECHA DE LA INSPECCIÓN

03VI02
11/04/02

<u>ESTADO ACTUAL ESTRUCTURA DE TRAMOS</u>	
Pintura envejecida y desprendida	▼
Oxidación superficial	▼
Corrosiones locales activas	▼
Entalladuras y pérdidas de sección	▼
Elementos metálicos deformados o rotos	▼
Tornillos flojos o faltan	▼
Soldaduras fisuradas	▼
Fisuras y grietas longitudinales bóvedas	▼
Fisuras y grietas transversales clave	▼
Fisuras y grietas transversales riñones	▼
Fisuras y grietas transversales arranques	▼
Fisuras y grietas longitudinales tímpanos	▼
Fisuras y grietas verticales tímpanos	▼
Separación y filtraciones tímpano-bóveda	▼
Fisuras y grietas longitudinales losas	▼
Fisuras y grietas transversales losas	▼
Fisuras y grietas verticales losas	▼
Fisuras y grietas longitudinales en alas superiores vigas	▼
Fisuras y grietas transversales en alas superiores vigas	▼
Fisuras y grietas longitudinales conexión alas-alma	▼
Fisuras y grietas transversales alma vigas	▼
Fisuras y grietas inclinadas alma vigas	▼
Fisuras y grietas longitudinales alma vigas	▼
Fisuras y grietas longitudinales ala inferior	▼
Fisuras y grietas transversales ala inferior	▼
Fisuras y daños en testeros	▼
Golpes y roturas	▼
Coqueras y nidos de grava	▼
Meteorización y degradación	▼
Desprendimientos	▼
Carbonatación y desagregación	▼
Armaduras vistas someras	▼
Corrosión y disgregación	▼
Humedades y filtraciones	1: Defectos con incidencia en la estética
Desagües obturados	0: No existen
Incrustaciones calcáreas y eflorescencias	1: Defectos con incidencia en la estética
Abombamientos	▼
Asentamientos y desnivelaciones	▼
Juntas longitudinales degradadas	▼
Juntas transversales degradadas	0: No existen
Vegetación aflorando	▼
Vegetación adosada	▼
OBSERVACIONES ESTRUCTURA DE TRAMOS	
ESTADO GENERAL ESTRUCTURA DE TRAMOS	1: Defectos con incidencia en la estética

INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTIERA FRANCESA

ID (Identificador de la estructura)
FECHA DE LA INSPECCIÓN

03VI02
11/04/02

ESTADO ACTUAL RESTO DE ELEMENTOS

Impermeabilización	0: No existen ▼
Drenaje longitudinal	0: No existen ▼
Drenaje transversal	▼
Muretes guardabalasto	▼
Juntas de dilatación	0: No existen ▼
Juntas de longitudinales	▼
Conducciones y canaletas	1: Defectos con incidencia en la estética ▼
Anclajes de postes	0: No existen ▼
Barandillas	0: No existen ▼

OBSERVACIONES RESTO DE ELEMENTOS

ESTADO GENERAL RESTO DE ELEMENTOS

1: Defectos con incidencia en la estética ▼

INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTIERA FRANCESA

ID (Identificador de la estructura)
FECHA DE LA INSPECCIÓN

03VI02
11/04/02

ESTADO ACTUAL

ESTADO GENERAL

ESTADO GENERAL ESTRIBOS

ESTADO GENERAL ALETAS

ESTADO GENERAL PILAS

ESTADO GENERAL APARATOS DE APOYO

ESTADO GENERAL ESTRUCTURA DE TRAMOS

ESTADO GENERAL RESTO DE ELEMENTOS

OBSERVACIONES

1: Defectos con incidencia en la estética

1: Defectos con incidencia en la estética

1: Defectos con incidencia en la estética

0: No existen

1: Defectos con incidencia en la estética

1: Defectos con incidencia en la estética

INSPECCIONES ESTRUCTURAS
L.A.V. MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

ID (Identificador de la estructura)

03VI02

FECHA DE LA INSPECCIÓN

11/04/02

IDENTIFICACIÓN ARCHIVOS FOTOGRÁFICOS

NOMBRE ARCHIVO

FOTOGRAFÍA Nº 1	ALZADO DERECHO	▼	03VI0201
FOTOGRAFÍA Nº 2	ALZADO IZQUIERDO	▼	03VI0202
FOTOGRAFÍA Nº 3	VISTA SUPERIOR DESDE ENTRADA	▼	03VI0203
FOTOGRAFÍA Nº 4	VISTA SUPERIOR DESDE SALIDA	▼	03VI0204
FOTOGRAFÍA Nº 5	ESTRIBO DE ENTRADA	▼	03VI0205
FOTOGRAFÍA Nº 6	ESTRIBO DE SALIDA	▼	03VI0206
FOTOGRAFÍA Nº 7	VISTA INFERIOR	▼	03VI0207
FOTOGRAFÍA Nº 8		▼	
FOTOGRAFÍA Nº 9		▼	
FOTOGRAFÍA Nº 10		▼	
FOTOGRAFÍA Nº 11		▼	
FOTOGRAFÍA Nº 12		▼	
FOTOGRAFÍA Nº 13		▼	
FOTOGRAFÍA Nº 14		▼	
FOTOGRAFÍA Nº 15		▼	

OBSERVACIONES

10.8. ANEJO Nº 8: PLANIMETRÍA Y NIVELACIÓN DE LA ESTRUCTURA

ANEJO Nº 8: PLANIMETRÍA Y NIVELACIÓN DE LA ESTRUCTURA

La Estructura 03VI02 de la L.A.V. Madrid – Barcelona – Frontera Francesa, Tramo Madrid – Zaragoza, Base de Madrid Sur, no ha sido objeto de control topográfico dentro de los trabajos realizados por IIC en el marco del contrato de “Consultoría y Asistencia Técnica para la Realización de Pruebas de Carga para la recepción de puentes de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – Frontera Francesa. Tramo Madrid – Lleida. Base de Madrid Sur”, suscrito con el GIF el 30 de Mayo de 2001.