

RED DE PUENTES MONITORIZADOS DE LA DGC EN ESPAÑA

P. CRESPO

Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, España

pcrespo@fomento.es

RESUMEN

La red de puentes presentada en este artículo constituye una plataforma de control y seguimiento estructural a nivel nacional, bajo tutela de la Dirección General de Carreteras, en la que se integran sistemas de monitorización variados con independencia de la metodología de adquisición de datos empleada. Formalmente, la red está compuesta por los propios puentes más un centro de datos que, de forma automática, resuelve la presentación de la información via web en tiempo real mediante recursos aplicados de forma universal a todas las estructuras integradas en la red.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace aproximadamente tres décadas, se ha generalizado la auscultación sistemática de las estructuras que son sobresalientes en algún sentido, ya sea por sus dimensiones o por alguna particularidad destacable. En este proceso, la informática, como compañera indisociable de la electrónica, juega un papel cada vez más importante en todos los aspectos involucrados: adquisición de datos, visualización, transmisión, análisis, etc.

Las mejoras tecnológicas acaecidas en los últimos años han ayudado en gran manera a monitorizar con garantías el estado real de las estructuras, tanto en su respuesta estática como dinámica. En este sentido, es posible registrar con precisión fenómenos lentos como variaciones térmicas, muy lentos como el comportamiento reológico o los ciclos estacionales, a la vez que se pueden auscultar fenómenos rápidos como la respuesta ante el paso de vehículos o ante la acción del viento.

Todo ello produce resultados de muy variada índole, como movimientos (flechas, giros), deformaciones, tensiones, aceleraciones, etc. de los que se pueden extraer conclusiones aplicables a facetas tan variadas como la normativa, el proyecto, la construcción o la conservación de las estructuras.

En lo que a la Dirección General de Carreteras (DGC) del Ministerio de Fomento se refiere, conforme se pusieron en funcionamiento los primeros sistemas de monitorización permanente de puentes en servicio, surgió la necesidad de implantar un sistema de gestión conjunto para todos ellos, dándoles cobertura bajo una misma red.

La generalización del uso de Internet como medio de conexión y transmisión de datos, y, particularmente, de la telefonía móvil en su vertiente M2M (conexión máquina-máquina) ha permitido integrar con facilidad en la red también aquellos puentes cuyo sistema de monitorización se plantea para apenas unas semanas de duración. Tal es el caso, por ejemplo, de estructuras construidas mediante empuje, maniobra ésta que, a pesar de ser de relativa corta duración, suele ser comprometida y requerir una vigilancia detallada.

La DGC dispone desde hace varios años, y en continuo crecimiento, de una red de puentes con sistema de instrumentación electrónica, siendo posible acceder en tiempo

real y desde cualquier lugar del mundo a la información registrada en cada puente. El objetivo de esta presentación es la descripción de dicha red, denominada CELOSIA, en lo que se refiere a su organización y características.

2. OBJETIVOS DE LAS MONITORIZACIONES

En CELOSIA están integrados puentes cuyo sistema de monitorización persigue alguno de los objetivos siguientes:

- *Herramienta de ayuda a la construcción.* Se aplica en puentes con procesos constructivos complejos, bien de forma continua o bien monitorizando operaciones concretas. Varios de ellos han sido construidos mediante empuje, otros son atirantados, hay arcos abatidos, tableros y arcos con avance en voladizo, etc.
- *Seguimiento del comportamiento en servicio.* Se aplica en algunos puentes singulares para verificar su adecuado funcionamiento en servicio y, también, como herramienta de vigilancia en puentes en los que se ha producido algún problema estructural en construcción o ha aparecido alguna patología o daño durante su vida útil.
- *Aumento del conocimiento de las estructuras y perfeccionamiento de las reglamentaciones técnicas.* En algunos puentes, la instrumentación dispuesta por alguna de las dos razones anteriores se ha complementado con la intención de obtener datos que nos permitan profundizar en el conocimiento de las estructuras, así como contrastar los criterios recogidos por la normativa técnica.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA RED

Actualmente, la red CELOSIA de puentes monitorizados de la DGC está formada por quince estructuras. El sistema más antiguo aún en servicio es el del puente sobre el río Iregua (Logroño) y data del año 2001, mientras que el más reciente es el del puente sobre la Bahía de Cádiz, del año 2011.

Formalmente, la red está compuesta por los propios puentes más un centro de datos, que es el corazón del sistema, en el que se almacena toda la información y es puesta a disposición de los usuarios. Entre las características del conjunto cabe citar las siguientes:

- Transmisión automática de datos entre los puentes y el centro de datos, que tiene lugar tan rápidamente como permite el medio de conexión utilizado (GPRS, UMTS, HSDPA, HSUPA...). A todos los efectos, puede considerarse que la transmisión tiene lugar en tiempo real.
- Presentación instantánea de la información (Figura 1) a través del portal web del centro de datos (www.celosia.es). Lógicamente, el formato de presentación y la navegación web por las estructuras son idénticos en todos los puentes (lo que universaliza el procedimiento y lo independiza de la empresa ejecutora de la instrumentación).
- Diferentes niveles de acceso a la información web: zona pública (ubicación de la estructura, ficha técnica) y zona privada accesible sólo mediante contraseña (registros de datos).

Estructura	Foto	Mapa	Ficha	Base	Canales	Registros	Ultimo registro	
Puente de la Bahía				bahia.reg	360	4373	Miércoles 23/02/2011 19:15:00	
Puente de Iregua				iregua.reg	80	254633	Miércoles 23/02/2011 19:10:00	
Viaducto de Alconétar				alconetar.reg	44	79711	Miércoles 23/02/2011 19:15:00	
Viaducto de Almonte				almonte.reg	28	60044	Lunes 14/02/2011 12:05:00	
Viaducto de Cañizares 1				cañizares1.reg	9	26356	Jueves 22/05/2008 17:50:00	
Viaducto de Cañizares 2				cañizares2.reg	11	14005	Martes 24/06/2008 18:40:30	
Viaducto de Contreras				contreras.reg	100	1011	Martes 08/09/1998 22:15:00	
Viaducto de Guadalfeo				guadalfeo2.reg	35	28092	Lunes 18/05/2009 20:00:00	
Viaducto de Montabliz Construcción				montabliz.reg	190	106375	Jueves 14/02/2008 11:35:00	
Viaducto de Montabliz Servicio				montabliz2.reg	62	298045	Miércoles 23/02/2011 19:15:00	
Viaducto de Nalón				nalón.reg	16	7871	Viernes 23/02/2007 16:59:00	
Viaducto de Paredes				paredes.reg	17	3035	Lunes 16/03/2009 14:15:40	
Viaducto de Pujayo				pujayo.reg	42	62882	Sábado 22/09/2007 20:15:00	
Viaducto de Regueirón				regueirón.reg	77	81647	Miércoles 11/02/2009 18:56:00	
Viaducto de San Pedro				sanpedro.reg	120	74356	Domingo 29/03/2009 12:14:00	
Viaducto de Vegarrozadas 1				vegarrozadas1.reg	10	18266	Viernes 10/09/2004 11:35:00	

Figura 1 - Portal de acceso a la red CELOSIA

En la red conviven sistemas de naturaleza diversa, según se trate de:

- Sistemas estáticos o dinámicos.
- Instrumentaciones de duración corta (monitorización de una maniobra), media (proceso constructivo) o larga (vida en servicio).
- Sensores y tecnologías de medida variados (la red está orientada a la gestión de la información, con independencia de la metodología utilizada en su adquisición), que únicamente deben cumplir un protocolo estándar de envío de datos.

Desde el punto de vista de la Administración, la red resuelve dos aspectos muy importantes relacionados con la auscultación de estructuras:

- La gestión de todos los puentes se hace desde un sitio centralizado que permite dar de alta o baja una estructura, autorizar a los usuarios, modificar las contraseñas de acceso, controlar los contenidos, etc.

- La información obtenida reside en un centro común y bajo un formato común, evitándose tanto la dispersión geográfica como la técnica, al tiempo que se facilita la materialización de copias de seguridad y se asegura la accesibilidad a los datos.

Desde el punto de vista de los usuarios finales de la información (que pueden tener diferentes funciones e intereses en relación con los puentes), los tres aspectos más importantes son:

- Acceso permanente a los datos. En este sentido, el usuario queda liberado de los inevitables intervalos de parada que sufre el sistema in situ (especialmente, en los puentes en construcción), ya que la información está siempre disponible a través del centro de datos.
- Formato universal de presentación datos. Como se ha dicho anteriormente, la información siempre es presentada de la misma forma con independencia del origen o suministrador de la misma.
- Simplicidad en la herramienta informática necesaria para acceder a la información: únicamente un navegador web.

Desde el punto de vista funcional, CELOSIA, más allá de un simple servidor de datos, es una plataforma de control y difusión de información estructural. El motor central de la misma “vigila” continuamente el estado operativo de los sistemas instrumentales y asigna un indicador de tipo semáforo (ver Figura 1) a los mismos: verde, para una estructura activa en el último día; amarillo, para una estructura activa en la última semana; y, rojo, para una estructura activa en el último mes. De esta forma, es posible detectar inmediatamente a través del portal web el buen funcionamiento de las instrumentaciones y las comunicaciones. Y, respecto a los datos, no se limita a permitir la tradicional descarga de archivos, sino que de forma instantánea procesa la información para hacer una presentación directamente asimilable por el usuario. Así, se pueden ver infogramas (paneles sinópticos), diales, tablas de leyendas (hitos constructivos), etc. a fin de facilitar la interpretación del comportamiento estructural o conocer el estado constructivo (ver apartado 5).

Es importante señalar que los valores presentados mediante los recursos citados no se restringen necesariamente a valores medidos, sino que pueden ser el resultado de un postproceso sencillo (como gradientes, envolventes), medio (como temperatura uniforme equivalente) o complejo (como tensiones principales, curvaturas o esfuerzos). Y todo ello sin la participación de personal técnico, lográndose así lo que constituye la característica más importante buscada a la hora de diseñar el sistema: su automatismo.

Por último, cabe señalar dos características adicionales que enriquecen el proceso:

- Capacidad para enviar mensajes (SMS, email) de aviso cuando se superan ciertas condiciones (determinada velocidad de viento, tensión elevada, giro excesivo en una pila, etc.).
- Capacidad para procesar expresiones matemáticas sin distorsión aunque falte alguno de los argumentos (tan frecuente en un sistema de control en funcionamiento durante la construcción), en cuyo caso, de forma automática se utilizan sólo los valores disponibles (por ejemplo, en la evaluación de un gradiente o una curvatura a partir de varios puntos de medida).

4. PUENTES MONITORIZADOS

Los puentes que integran CELOSIA están distribuidos a lo largo de la geografía española como se muestra en la imagen adjunta (Figura 2).

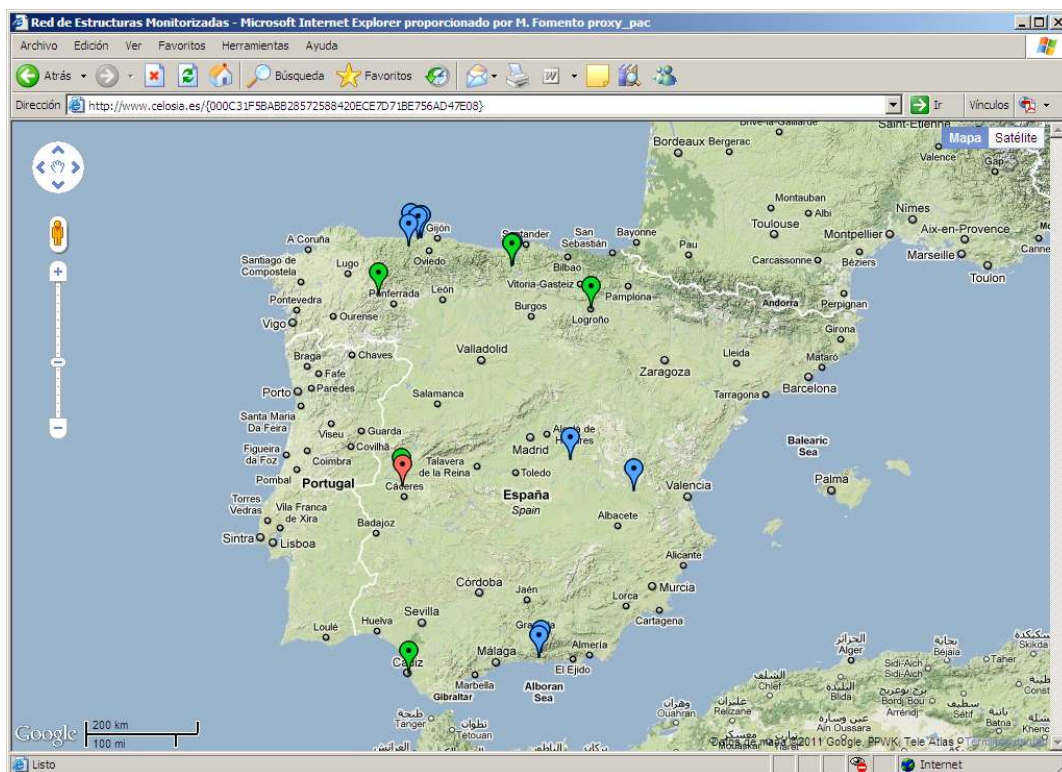


Figura 2 - Ubicación de los puentes que integran la red CELOSIA

En la Tabla 1, se recogen las principales características de las estructuras, así como la fecha de puesta en marcha de los correspondientes sistemas de medida.

Tabla 1. Puentes que integran la red CELOSIA

	<p>Viaducto de Contreras (Cuenca)</p> <p>Celosía metálica con losa de hormigón</p> <p>Longitud: 426 m</p> <p>Luz máxima: 170 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> julio 1998</p>
	<p>Puente del Iregua (Logroño)</p> <p>Atirantado con tablero de hormigón pretensado y pilono mixto</p> <p>Longitud: 304 m</p> <p>Luz máxima: 120 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> mayo 2001</p>
	<p>Viaducto de Almonte (Cáceres)</p> <p>Arco de hormigón armado con tablero de hormigón pretensado</p> <p>Longitud: 432 m</p> <p>Luz máxima: 184 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> junio 2003</p>

	<p>Viaducto de Vegarrozadas (Asturias)</p> <p>Tablero de hormigón pretensado construido mediante empuje <i>Longitud:</i> 397 m <i>Luz máxima:</i> 48 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> junio 2004</p>
	<p>Viaducto de Guadalfeo (Granada)</p> <p>Celosía tubular metálica con losa de hormigón empujado <i>Longitud:</i> 585 m <i>Luz máxima:</i> 140 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> diciembre 2005</p>
	<p>Viaducto de Montabliz (Cantabria)</p> <p>Cajón de hormigón pretensado de 26 m de anchura <i>Longitud:</i> 720 m <i>Luz máxima:</i> 175 m <i>Altura de pila:</i> 130 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> diciembre 2005</p>
	<p>Viaducto de Pujayo (Cantabria)</p> <p>Cajón de hormigón pretensado de 26 m de anchura <i>Longitud:</i> 420 m <i>Luz máxima:</i> 100 m <i>Altura de pila:</i> 64 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> diciembre 2005</p>
	<p>Arcos de Alconétar (Cáceres)</p> <p>Arcos metálicos con tablero mixto <i>Longitud:</i> 400 m <i>Luz máxima:</i> 220 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> marzo 2006</p>
	<p>Viaducto de Nalón (Asturias)</p> <p>Tablero empujado con doble acción mixta y pretensado exterior <i>Longitud:</i> 1.100 m <i>Luz máxima:</i> 124 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> noviembre 2006</p>
	<p>Ampliación Viaducto de San Pedro (Asturias)</p> <p>Ampliación a 23 m de anchura con elementos metálicos, mixtos, de hormigón ligero y pretensado exterior <i>Longitud:</i> 750 m <i>Luz máxima:</i> 150 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> febrero 2008</p>

	<p>Viaducto de Regueirón (Asturias)</p> <p>Tablero mixto empujado de 23 m de anchura y planta curva <i>Longitud:</i> 560 m <i>Luz máxima:</i> 92 m <i>Altura de pila:</i> 82 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> abril 2008</p>
	<p>Viaducto de Cañizares (Granada)</p> <p>Tablero mixto construido mediante empuje <i>Longitud:</i> 220 m <i>Luz máxima:</i> 75 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> mayo 2008</p>
	<p>Viaducto de Paredes (Cuenca)</p> <p>Tablero empujado con doble acción mixta <i>Longitud:</i> 380 m <i>Luz máxima:</i> 104 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> febrero 2009</p>
	<p>Talud de Trabadelo⁽¹⁾ (León)</p> <p>Reparación de talud de desmonte <i>Altura:</i> 175 m <i>Superficie:</i> 70.000 m²</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> noviembre 2009</p>
	<p>Puente de la Bahía (Cádiz)</p> <p>Atirantado con tablero mixto/metálico <i>Longitud:</i> 3.157 m <i>Luz máxima:</i> 540 m</p> <p style="text-align: right;"><i>Inicio de la toma de datos:</i> febrero 2011</p>

(1) El Talud de Trabadelo constituye una singularidad en la red: aunque no se trata de un puente, se ha integrado en la red CELOSIA ya que, debido a las características tan excepcionales de la actuación, el sistema de monitorización dispuesto es equivalente al del resto de las estructuras.

5. RESULTADOS

Seguidamente se recogen algunos resultados a los que puede accederse a través del portal www.celosia.es y que se presentan como una muestra de las funcionalidades del sistema.

— Seguimiento de una operación de lanzamiento

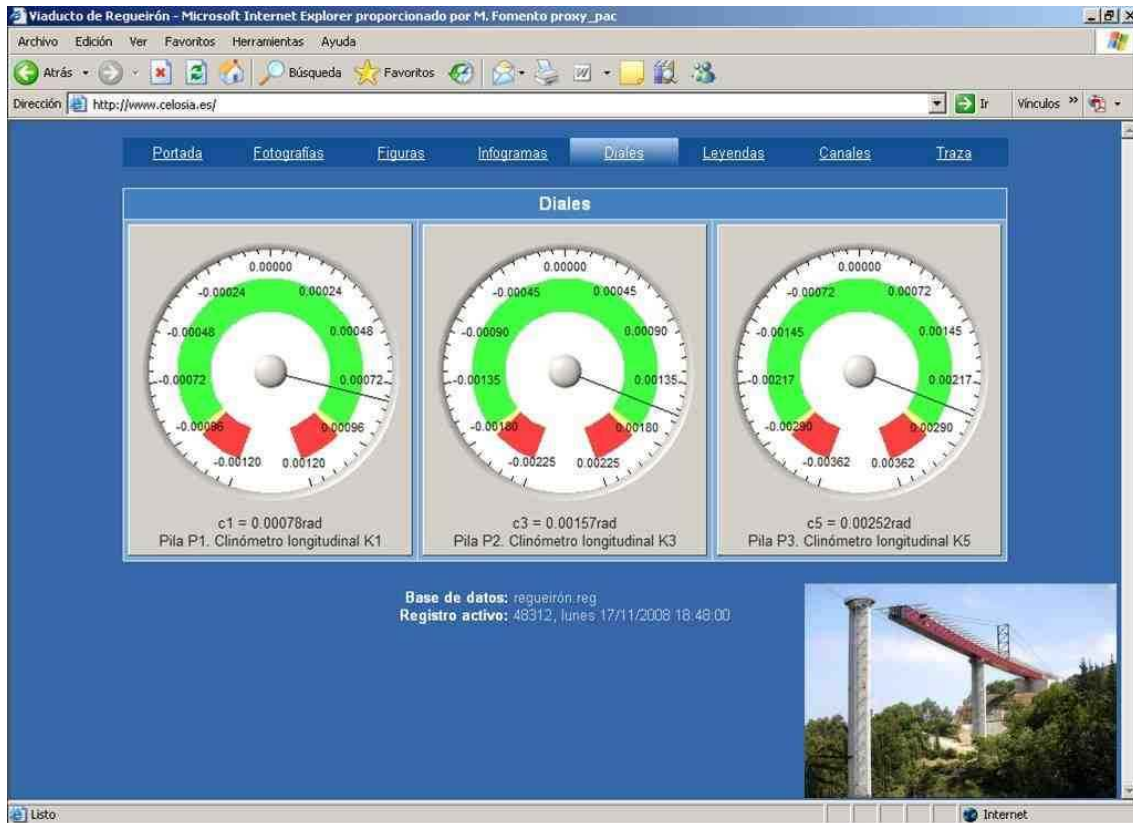


Figura 3 - Diales para monitorización del giro en coronación de pilas (Viaducto de Regueirón)

The screenshot displays a web application titled "Viaducto de Regueirón" in a Microsoft Internet Explorer browser. The main content area shows a list of construction activities with their corresponding advance distances and dates. The activities are listed in a table format with three columns: description, distance, and date/time.

Punta de avance a 344m	39440	Jueves 21/08/2008 11:24:00
Punta de avance a 348m. Parada	39736	Jueves 21/08/2008 13:11:00
Reanudación del empuje	39832	Jueves 21/08/2008 14:48:00
Punta de avance a 352m	39941	Jueves 21/08/2008 15:37:00
Punta de avance a 356m	40079	Jueves 21/08/2008 16:23:00
Desapeo de cola en AP4	40105	Jueves 21/08/2008 16:31:40
Punta de avance a 360m	40522	Jueves 21/08/2008 18:55:40
Punta avance a 364m. Fin empuje 21/08/08	40649	Jueves 21/08/2008 19:39:00
Reanudación del empuje 22/08/08	40736	Viernes 22/08/2008 09:17:00
Punta de avance a 368m	40827	Viernes 22/08/2008 09:50:20
Punta de avance a 372m	40969	Viernes 22/08/2008 10:38:00
Punta de avance a 374m	41032	Viernes 22/08/2008 10:59:20
Punta de avance a 375m	41060	Viernes 22/08/2008 11:08:40
Punta avance 374m. Fin cuarto empuje	41102	Viernes 22/08/2008 11:22:44
Montaje de freno	41246	Viernes 22/08/2008 14:44:00
Desmontaje de percha	41305	Lunes 25/08/2008 11:58:00
Colocación tramo 25	41388	Lunes 25/08/2008 14:44:00
Colocación tramo 26	41680	Martes 26/08/2008 15:38:00
Inicio empuje 3m para recuperar posición	45128	Sábado 18/10/2008 11:36:00
Punta avance 374m. Fin del empuje	45394	Sábado 18/10/2008 13:03:40
Montaje de frenos	45435	Sábado 18/10/2008 13:17:40
Retirada de percha	46177	Jueves 23/10/2008 10:56:00
Colocación del tramo 26	46209	Jueves 23/10/2008 12:00:00
Colocación del tramo 27	46372	Viernes 24/10/2008 12:00:00
Colocación del tramo 28	46492	Sábado 25/10/2008 12:00:00

Figura 4 - Leyendas informativas on-line (Viaducto de Regueirón)

— Monitorización continua de procesos constructivos

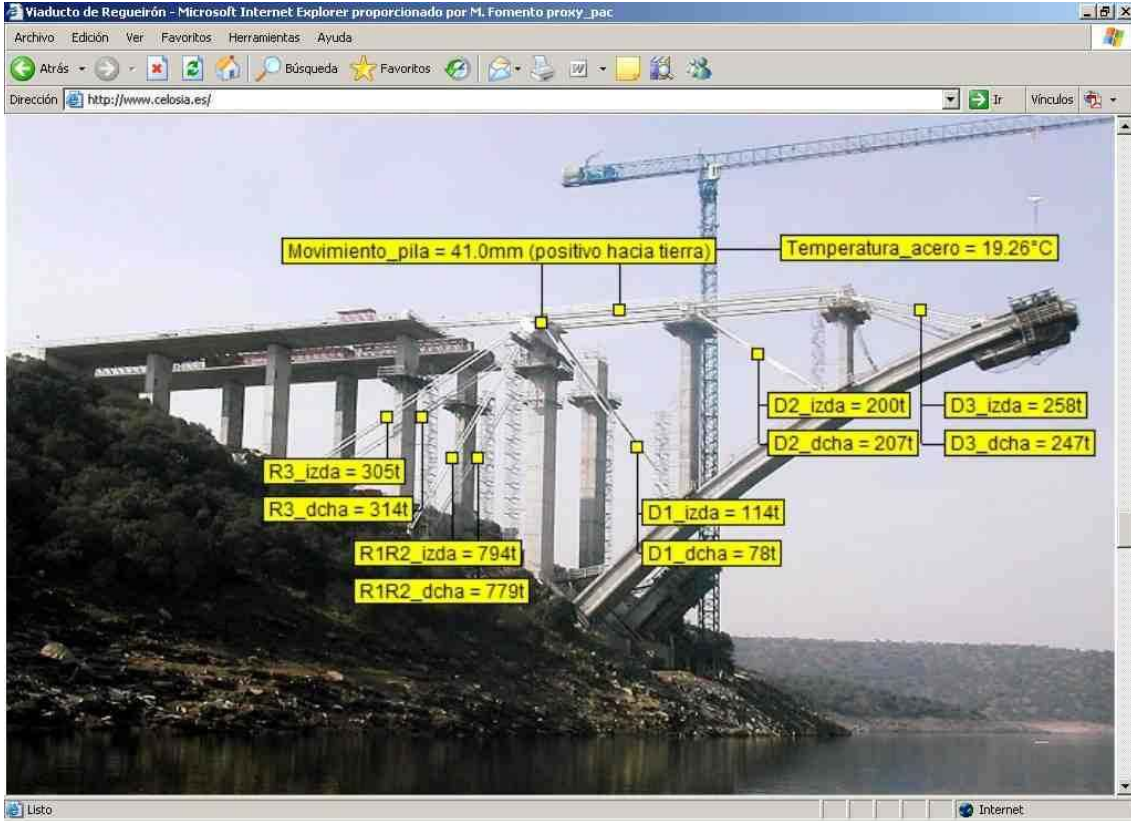


Figura 5 - Infograma para control de fuerzas en tirantes y movimientos en pilas (Viaducto de Almonte)

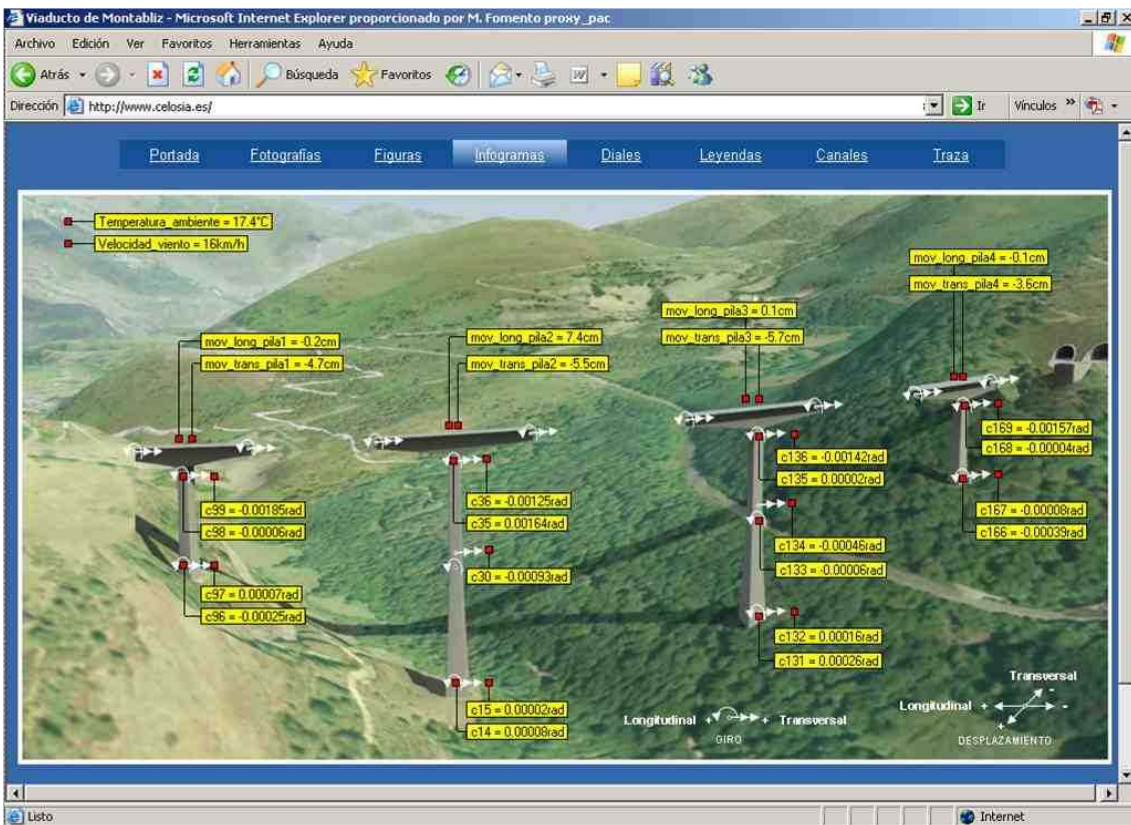


Figura 6- Infograma para control de giros y movimientos en pilas (Viaducto de Montabliz)

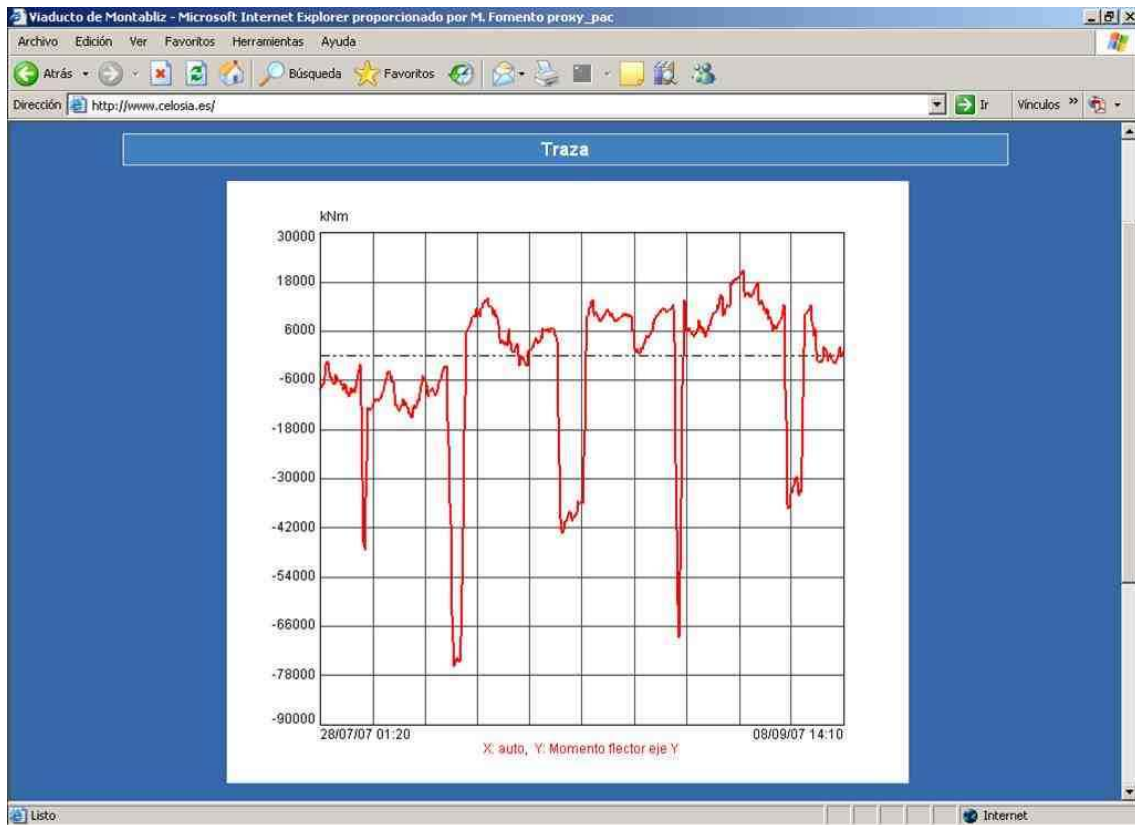


Figura 7 - Variación del momento flector en base de pila producida por el hormigonado de cinco semi-dovelas de tablero del brazo Norte y sus cinco semi-dovelas equivalentes del brazo Sur (Viaducto de Montabliz)

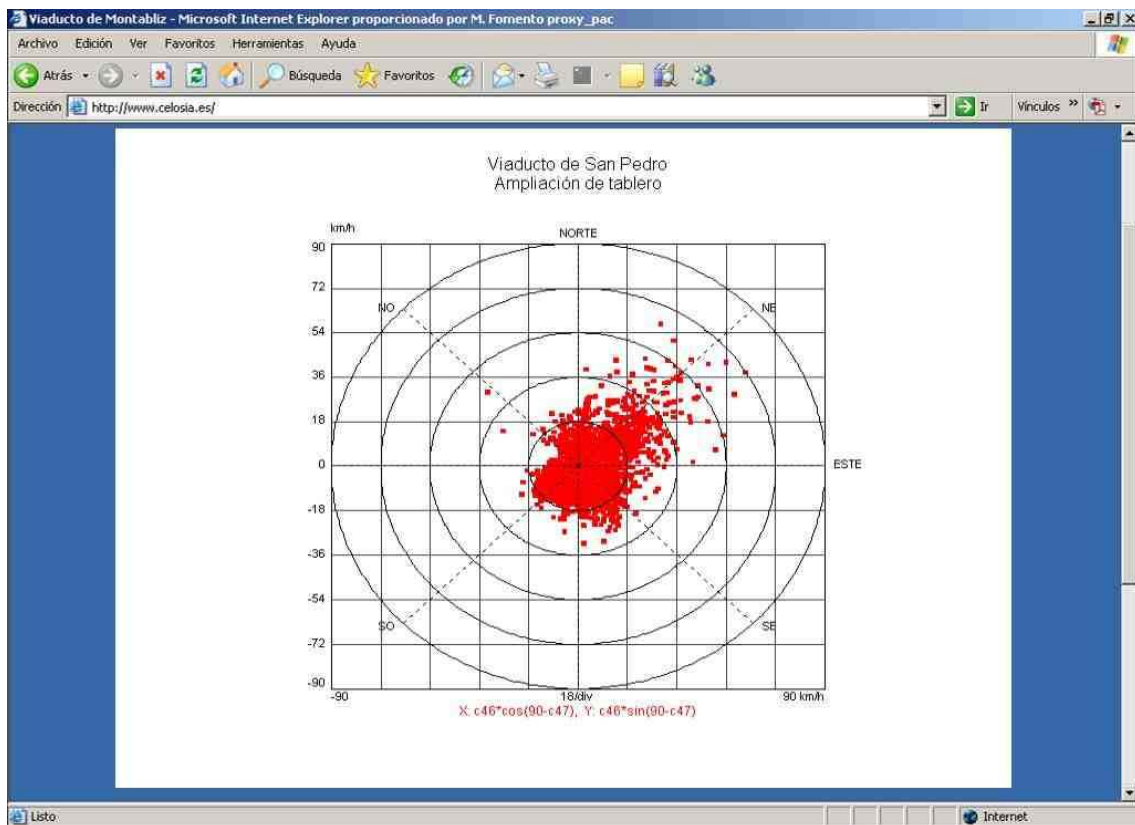


Figura 8 - Diagrama polar de viento para limitación de operaciones constructivas (San Pedro)

— Seguimiento de puentes en servicio

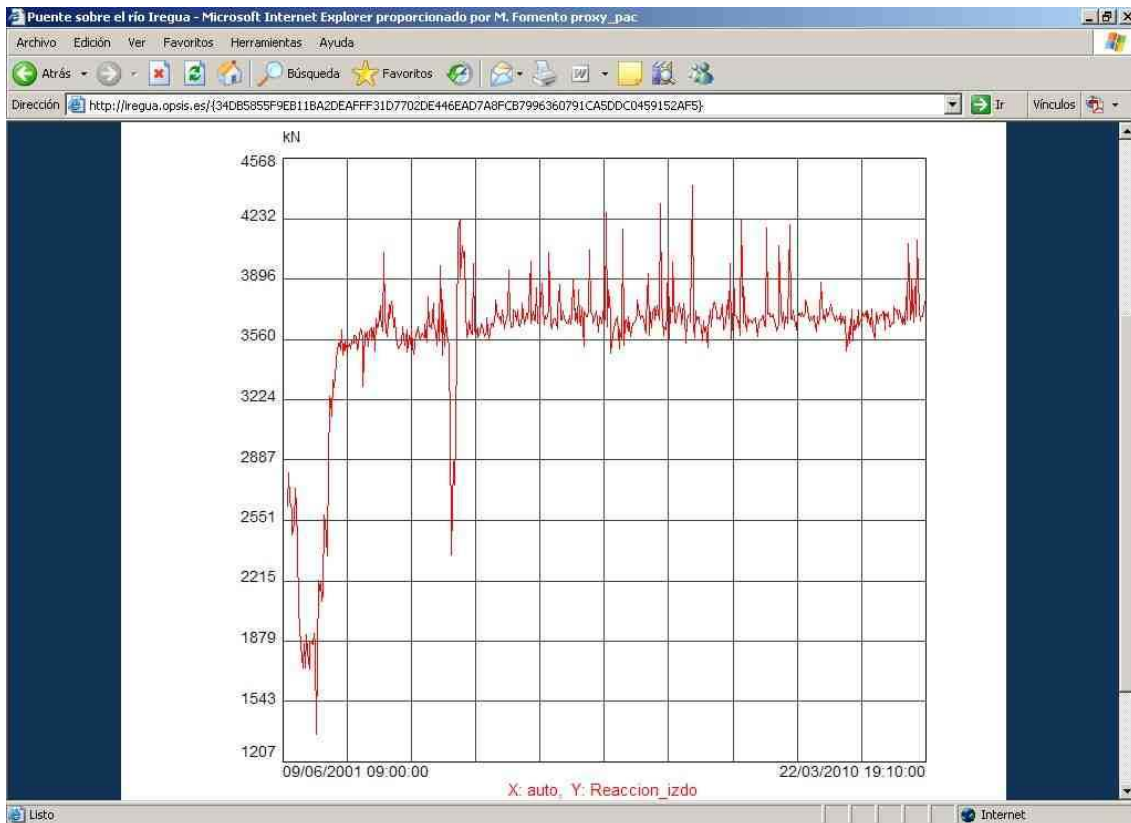


Figura 9 - Evolución de la reacción en estribo entre mayo 2001 y marzo 2010 (Puente del Iregua: el primer recuadro del gráfico corresponde a la construcción; la oscilación del tercer recuadro se debe a una operación de repavimentación)

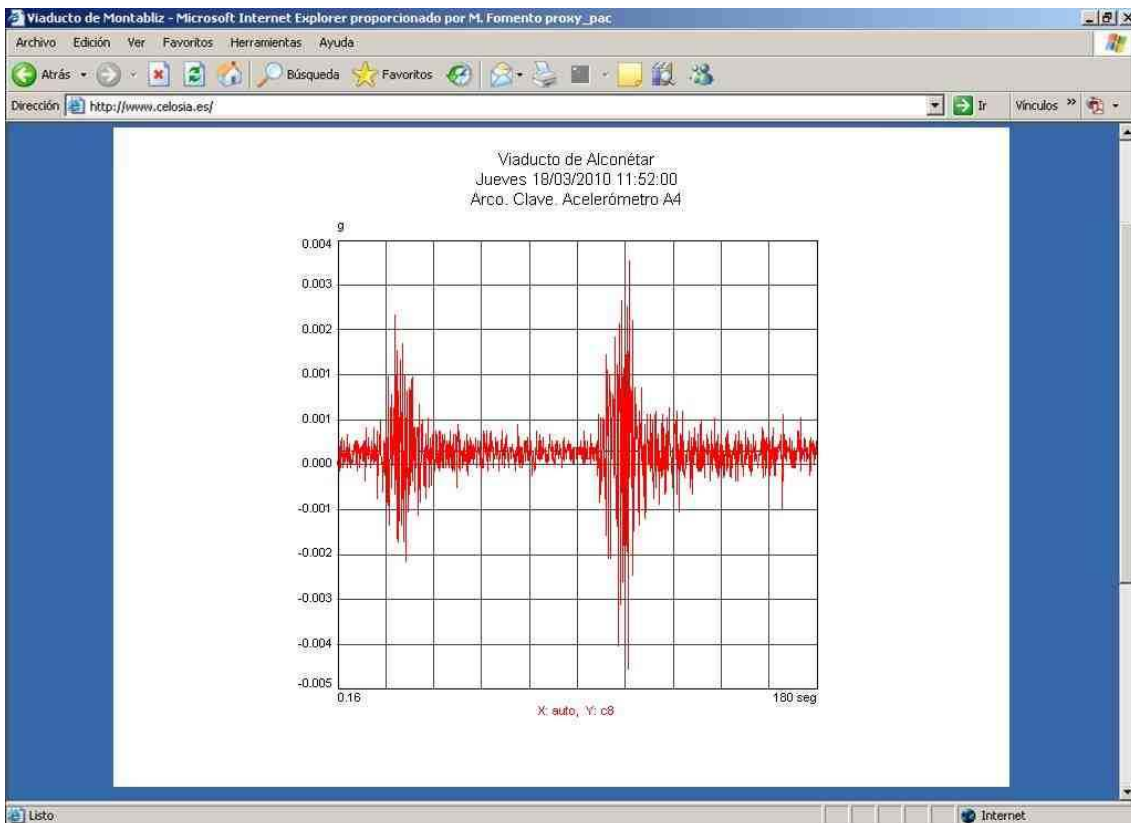


Figura 10 - Acelerograma producido por el tráfico (Arcos de Alconétar)

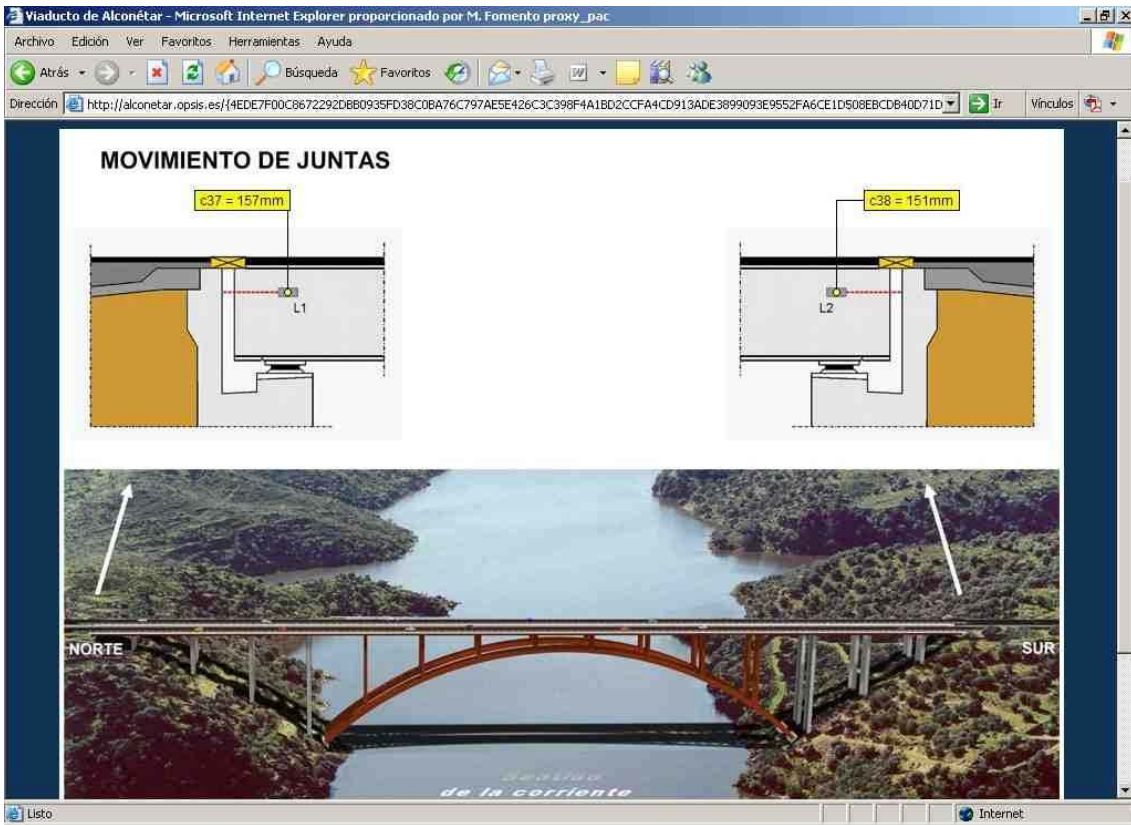


Figura 11 - Movimiento de juntas (Arcos de Alconétar)

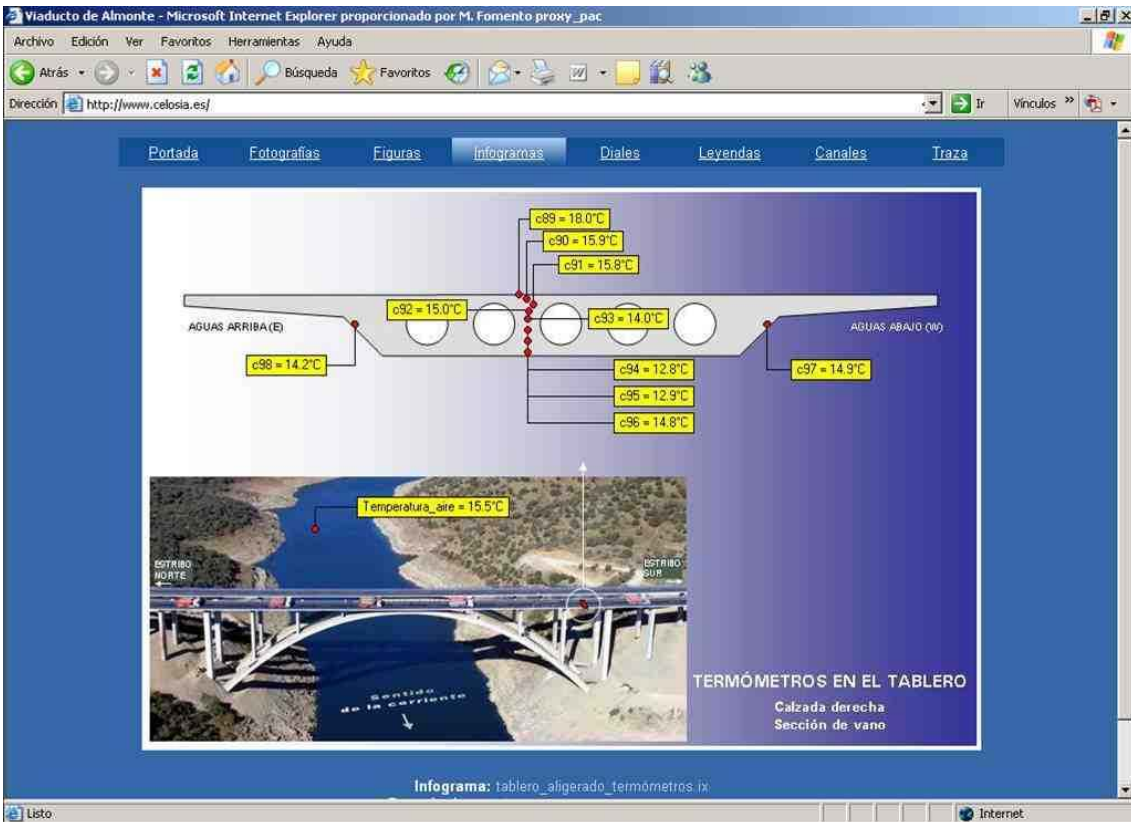


Figura 12 - Infograma para estudio térmico del tablero (Viaducto de Almonte)