

# ***INSPECCION Y EVALUACIÓN DE PATOLOGIAS EN PUENTES DE HORMIGON ARMADO.***

**Mg. Inga. Schierloh María Inés.**

**Ing. Souchetti Roberto F., Ing. Machado Patricio  
Asesor Científico Tecnológico: Prof. Sota Jorge**

***Grupo de Investigación en Rehabilitación de Estructuras  
- GIRE-***



*Universidad Nacional de Asunción  
Facultad de Ingeniería*



*Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Concepción del Uruguay*



Puente de Minneapolis. Minnesota. Colapsó el 1 de agosto 2007, había sido declarado “Estructuralmente Deficiente en 2005”



*Universidad Nacional de Asunción*  
*Facultad de Ingeniería*



*Universidad Tecnológica Nacional*  
*Facultad Regional Concepción del Uruguay*



**Puente Loncomilla. Vista desde aguas arriba, desde ribera poniente. Chile**



- **Puente sobre el Río San Francisco en la Provincia de Salta.** En la RP N° 5 de la Provincia de Salta (12 tramos de 60 m de longitud cada uno). Primer tramo colapsado, en un extremo. (19 de agosto de 1998).



**Noviembre 7, 2005: Viaducto en Almuñecar, Granada, España.**  
6 muertes



*Universidad Nacional de Asunción*  
*Facultad de Ingeniería*



*Universidad Tecnológica Nacional*  
*Facultad Regional Concepción del Uruguay*

---

La pregunta no es si el puente va a caerse...

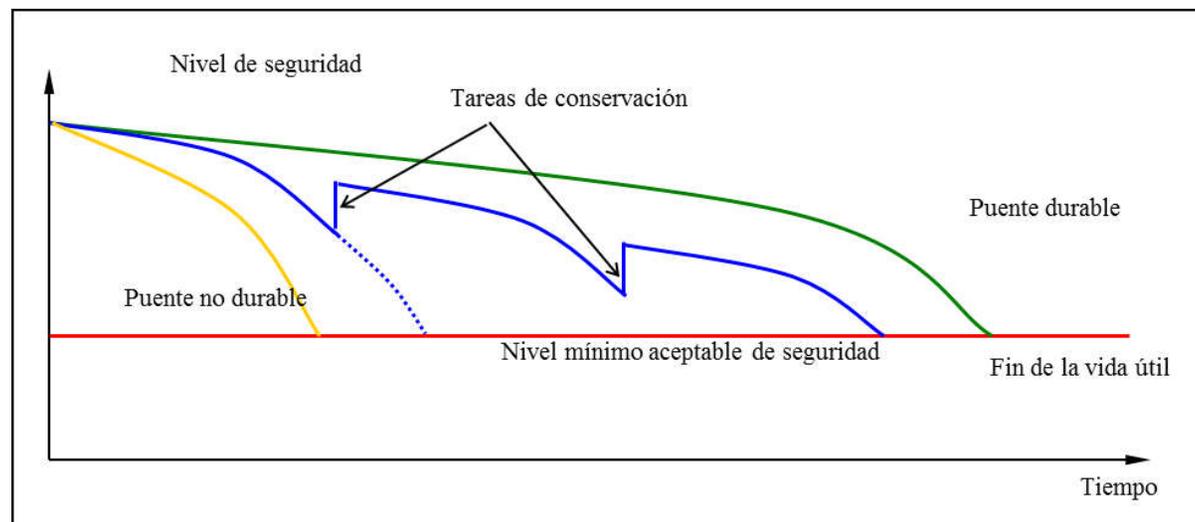
**LA PREGUNTA ES... CUANDO Y CÓMO?**



La esperanza de vida humana se incrementó, de un poco más de 20 años en la antigüedad, a más de 70 años en la actualidad.

El aumento se debe fundamentalmente a la mejora en la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades y lesiones.

En los puentes se plantea una situación similar:





<b>Caminos</b>	<b>Puentes</b>
<b>El usuario percibe y sufre gradualmente el deterioro</b>	<b>El usuario generalmente no percibe el deterioro hasta que se produce el colapso del puente</b>
<b>No se produce un colapso brusco que inhabilite el tramo</b>	<b>El derrumbe de un solo puente inhabilita completamente el tramo de ruta</b>

**Edificios:** al habitar en su interior, el usuario también percibe las señales de deterioro de la estructura.

**CONCLUSIÓN:** los puentes requieren una particular atención, un plan sistemático de inspecciones y un tratamiento especial.



---

Los puentes deberán tener seguridad y adecuada prestación , desde los puntos de vista:

- Hidráulico { Estabilidad frente a la socavación  
No provocar embalses
- Estructural { Capacidad portante  
Velocidad de deterioro: sulfatos, cloruros, aire,  
AGUA
- Vial { Seguridad: Ancho de calzada, veredas,  
defensas y barandas, implantación  
Confort: estado de juntas y capa de rodamiento.



## ***Objetivo general:***

---

Se propuso realizar una inspección y posterior evaluación patológica del estado de los puentes de hormigón armado de la red vial provincial, con el propósito de obtener un diagnóstico de las condiciones en que se encuentran, con el fin, en una siguiente etapa, de especificar las intervenciones necesarias, esquemas de reparaciones y recomendaciones generales.



## ***Objetivos específicos:***

---

- Desarrollar una metodología de estimación y evaluación de daño en estructuras de puentes.
- Aplicar dichas metodologías a cinco puentes de hormigón armado, seleccionados por la Dirección Provincial de Vialidad, Zonal IX Uruguay.
- Identificar los defectos y detectar fuentes potenciales de problemas que puedan afectar su condición de servicio, la durabilidad o la seguridad.

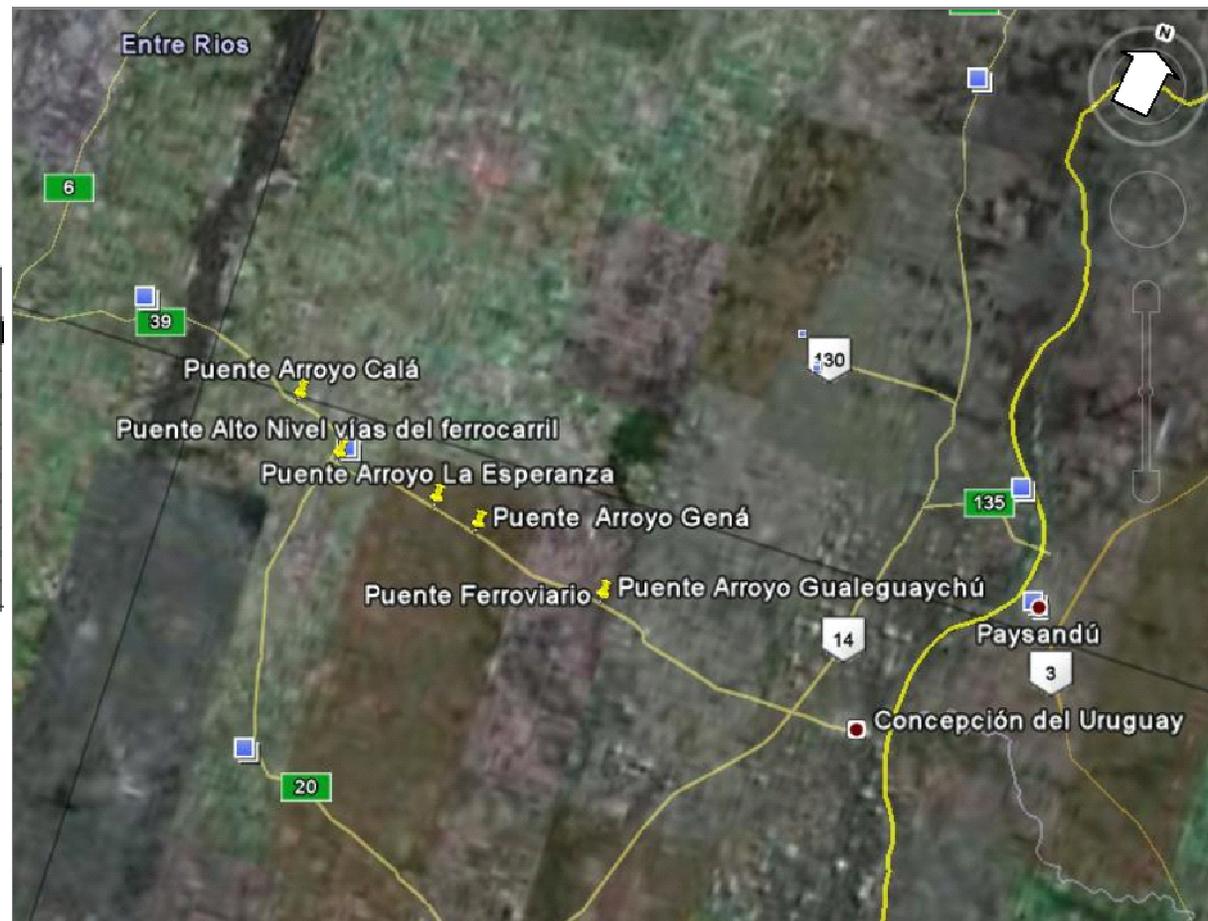


## Introducción:

Los puentes a estudiar fueron propuestos por la Dirección Provincial de Vialidad, Zonal IX.

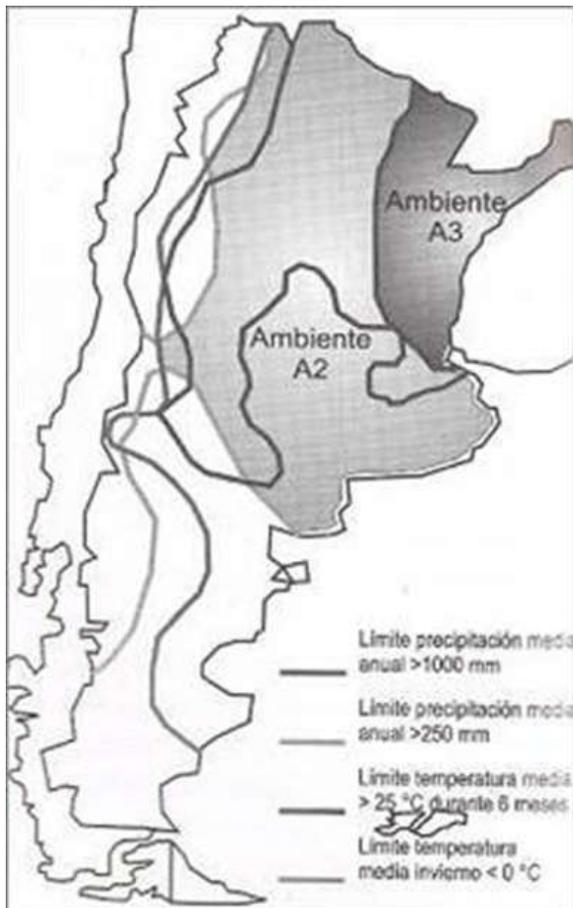
UBICACIÓN DE PUENTES SOBRE RUTA 39		
Nº	NOMBRE PUENTE	Lat. / Long.
1	Arroyo Gualeguaychú	32°26' 42",31 S 58°33' 17",88 O
2	Arroyo Gená	32°25' 06",02 S 58°42' 58",18 O
3	Arroyo La Esperanza	32°23' 46",96 S 58°48' 47",60 O
4	Alto Nivel Vías FFCC	32°23' 40",72 S 58°53' 19",62 O
5	Arroyo Calá	32°21' 03",70 S 58°57' 11",21 O

Progresiva desde  
Concepción del Uruguay





## Introducción:



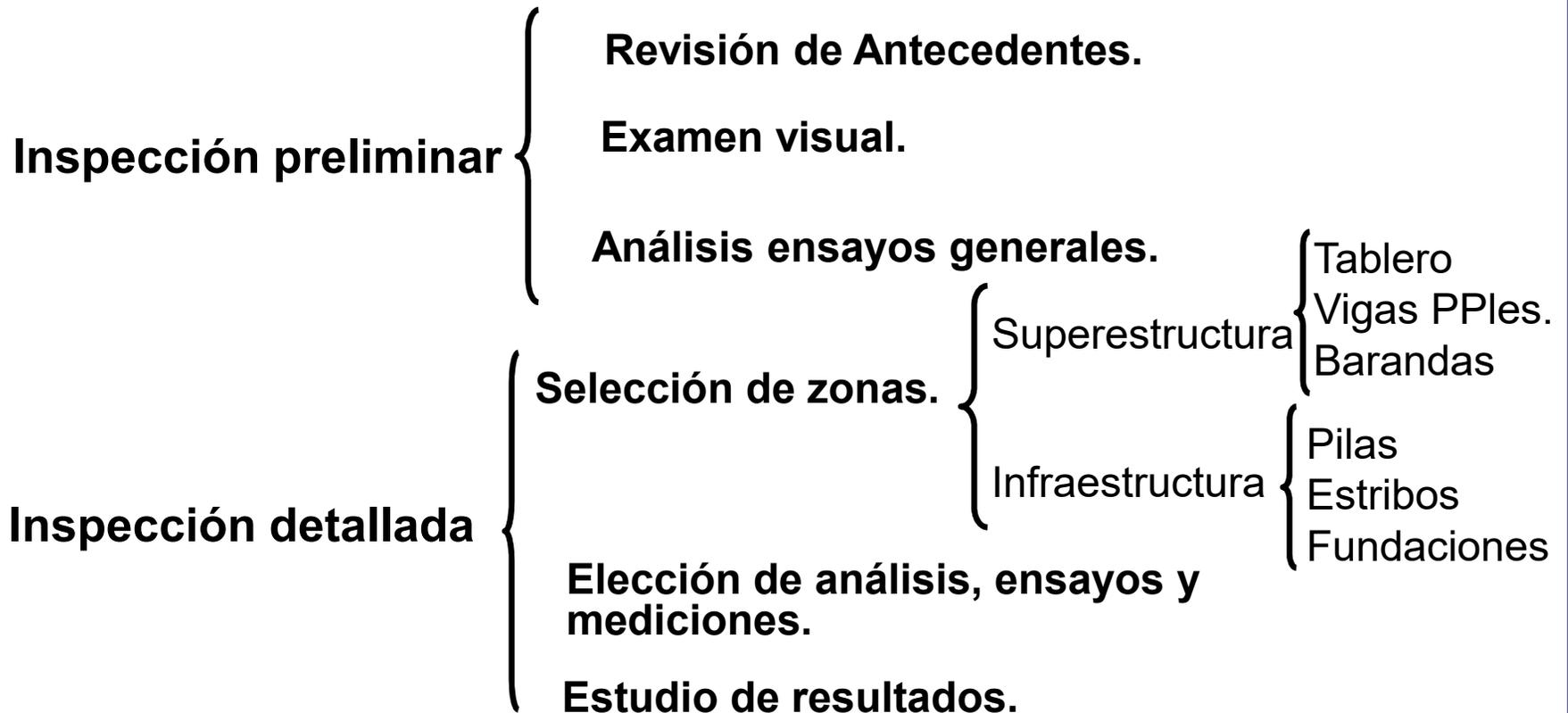
Los puentes se encuentran en un ambiente que se clasifica como **Rural**. Caracterizado por la ausencia de agresivos químicos al H.A. con excepción del dióxido de carbono de la atmósfera.

CIRSOC 201:02 **A3: Exterior**, expuesto a precipitaciones media anual  $\geq$  a 1000 mm y con temperaturas media mensual  $\geq$  a 25°C durante más de 6 meses.

IRAM 11603: zona bio-ambiental **IIb: Cálido**, Amplitudes Térmicas < 14°C.



## ***Procedimiento de Evaluación:***

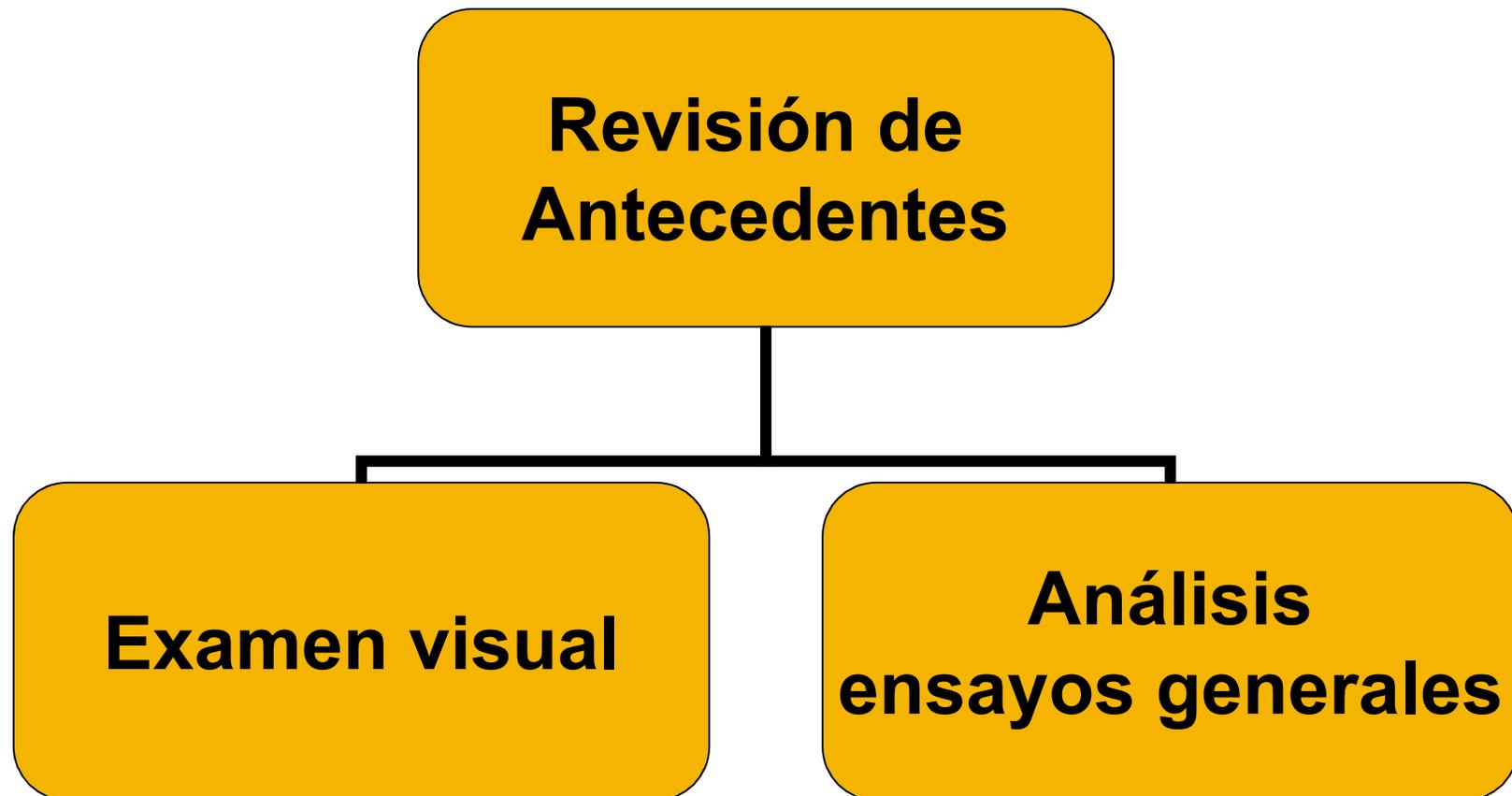


**Diagnóstico**



## ***Inspección preliminar:***

---





## ***Inspección detallada:***

---

En los casos que los resultados de la inspección preliminar lo ameriten se lleva a cabo una evaluación más compleja de la problemática de la estructura del puente, se hace una inspección detallada.

Esta, se divide en tres etapas y al finalizar las mismas se obtiene un diagnóstico general del estado de la estructura del puente.

Estas etapas son:

- **1- Selección de zonas.**
- **2- Elección de análisis, ensayos y mediciones.**
- **3- Estudio de resultados y diagnóstico.**



## ***1- Selección de zonas:***

---

### **1-Superestructura**

- **Tablero:** losa principal del puente
- **Vigas:** apoyos donde descarga el tablero
- **Barandas:** protecciones laterales de la superestructura.

### **2-Infraestructura**

- **Pilas:** apoyos intermedios de la superestructura.
- **Estribos:** apoyos extremos de la superestructura.
- **Fundaciones:** transmiten el esfuerzo al suelo.



## ***2- Elección de análisis, ensayos y mediciones:***

---

### **Para la evaluación del hormigón:**

Los ensayos necesarios de realizar sobre el hormigón son:

- a) Detección de la delaminación del recubrimiento del hormigón
- b) Resistividad eléctrica del hormigón.
- c) Ultrasonido.
- d) Esclerometría.
- e) Profundidad de carbonatación
- f) Contenido de iones cloruros
- g) Resistencia a la compresión
- h) Porosidad
- i) Detección de fisuras y grietas.



## ***2- Elección de análisis, ensayos y mediciones:***

---

### **Para la evaluación del hormigón:**

Los ensayos realizados sobre el hormigón fueron:

- a) **Detección de la delaminación del recubrimiento del hormigón.**
- b) Resistividad eléctrica del hormigón.
- c) **Ultrasonido.**
- d) **Esclerometría.**
- e) **Profundidad de carbonatación.**
- f) Contenido de iones cloruros
- g) Resistencia a la compresión
- h) Porosidad
- i) **Detección de fisuras y grietas.**



## ***2- Elección de análisis, ensayos y mediciones:***

---

**Para el caso de las armaduras, los ensayos propuestos fueron:**

- a) Localización de la armadura y espesor de recubrimiento
- b) Medición de la disminución de la sección.
- c) Medición de potenciales electroquímicos de corrosión.
- d) Medición de la velocidad de corrosión.



## ***2- Elección de análisis, ensayos y mediciones:***

---

**Para el caso de las armaduras, los ensayos propuestos fueron:**

En esta primera etapa se realizó:

- a) Localización de la armadura y espesor de recubrimiento.
- b) Medición de la disminución de la sección.
- c) Medición de potenciales electroquímicos de corrosión.
- d) Medición de la velocidad de corrosión.



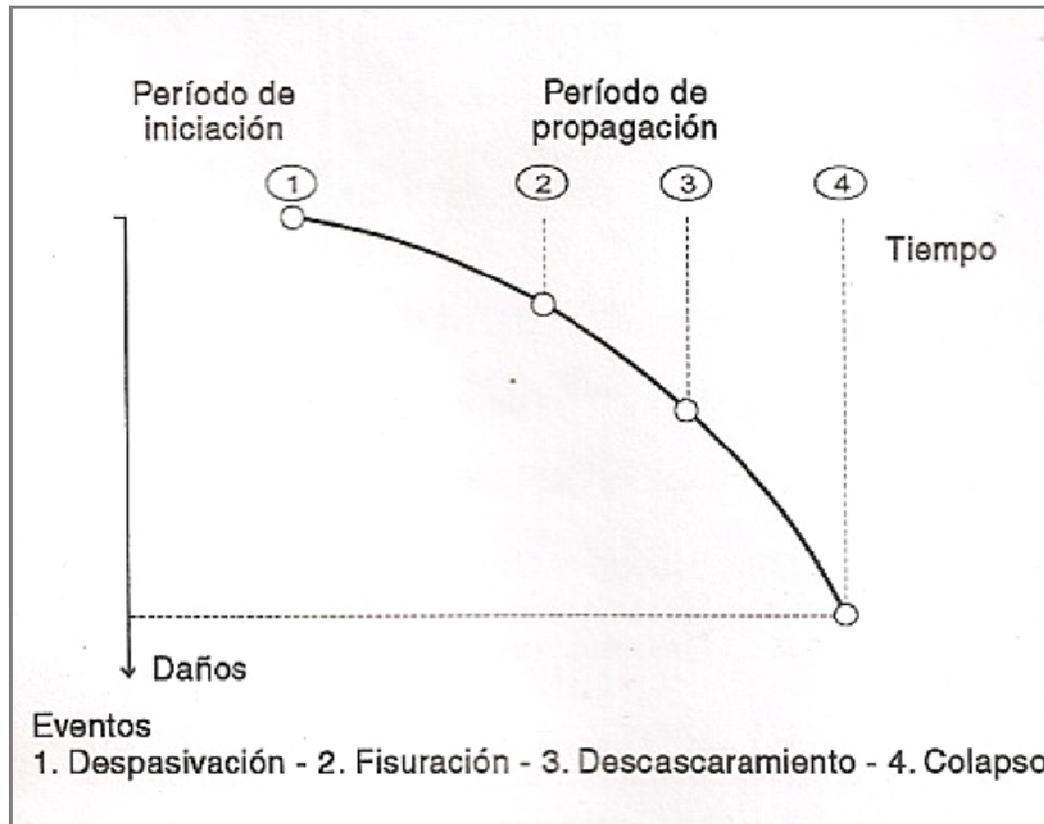
### ***3- Diagnostico:***

---

Establecer el diagnostico patológico para la estructura de un puente, resulta un proceso lógico de análisis e interrelación de todos los hechos, resultados y observaciones realizados en las etapas de inspección.



### 3- *Diagnostico:*



Los puntos 1 y 2 representan eventos relacionados con los estados de servicio de la estructura, el punto 3 se relaciona tanto con los estados de servicio como con los límites y el 4 representa el colapso de la estructura.

Modelo teórico del procesos de corrosión (Tuutti 1982).



## ***Inspección preliminar:***

---

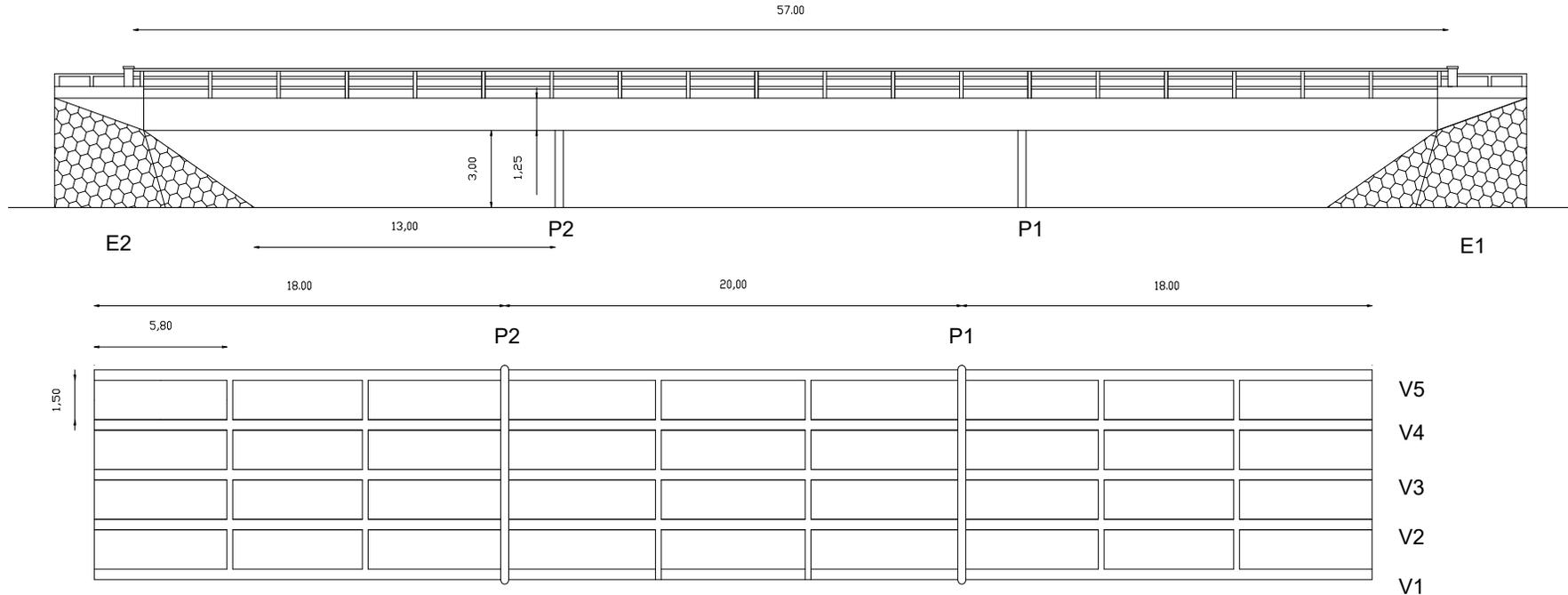
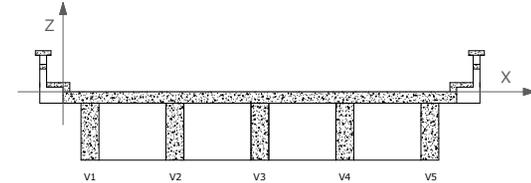
***Puente sobre Arroyo Calá:*** localizado en la ruta provincial N° 39, progresiva al Km 70,23 (Rocamora).

Según su destino o uso es un puente carretero, de Hormigón Armado in situ, construido en el año **1978**, con una longitud de 58 m, un ancho de calzada de 8,4 m y una altura máxima de 4,7 m. Compuesto por tablero de hormigón armado, con juntas de dilatación tipo tijera, barandas de hormigón; cinco vigas longitudinales, dos pilas y dos estribos. Es el puente de mayor antigüedad.



# Puente sobre Arroyo Calá:

## Descripción



La estructura del puente se apoya sobre dos estribos extremos y dos pilares interiores de hormigón armado in situ.



## ***Puente sobre Arroyo Calá:***

---



Vista de fisuras en la losa del tablero superior.





## ***Puente sobre Arroyo Calá:***



Vista lateral, donde se puede observar los desagües.



## ***Puente sobre Arroyo Calá:***

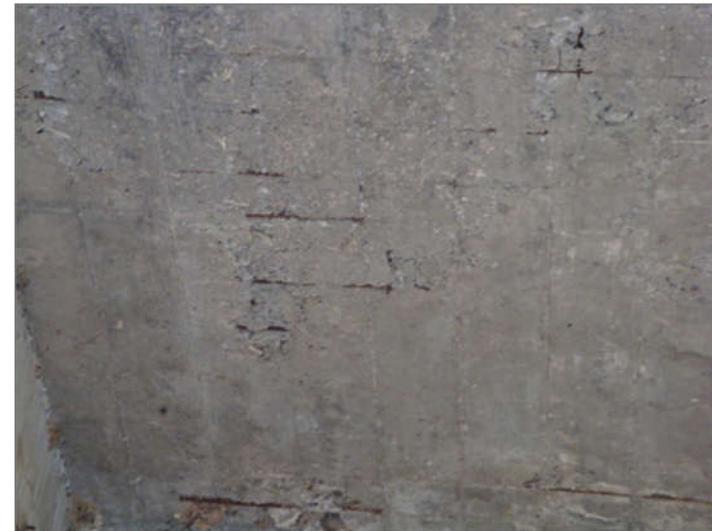


**Tablero superior con procesos visibles de lixiviación y armadura expuesta con procesos corrosivos en viga sobre estribos.**



## ***Puente sobre Arroyo Calá:***

---



Armaduras expuestas y con procesos corrosivos, en parte inferior de la losa del tablero.



## ***Inspección preliminar:***

---

***Puente Alto Nivel sobre Vías de Ferrocarril:*** Se encuentra ubicado en la Ruta Provincial N° 39 al km 60,68 (Basavilbaso).

Puente carretero, fue construido en el año **1981**. Esta compuesto por tablero de hormigón armado con capa de desgaste bituminosa, barandas defensas metálicas. Consta de cuatro vigas longitudinales post-tesadas in situ, tres pilas, dos estribos, con un ancho de calzada de 8,5 m y una altura máxima de 9,8 m. Se pudo observar que la construcción del puente fue interrumpida, estando aún hoy, parte del encofrado utilizado, siendo notoria la falta de terminación.



## ***Puente Alto Nivel sobre Vías del Ferrocarril:***



**Vista superior e inferior del tablero.**



## ***Puente Alto Nivel sobre Vías del Ferrocarril:***



**Detalle de desagüe y vista inferior de estribo este.**



## ***Inspección preliminar:***

---

***Puente sobre Arroyo La Esperanza:*** Se encuentra emplazado sobre la ruta Provincial N° 39 al Km 58,34 (Villa Mantero).

Puente carretero, cuya fecha de construcción no se ha podido determinar. Esta compuesto por tablero de hormigón armado con capa de desgaste bituminosa, barandas-defensas metálicas. Consta de cuatro vigas longitudinales premoldeadas, dos estribos y dos pilas centrales compuestas por cuatro columnas de hormigón armado cada una, situadas debajo de cada viga transversal.

La longitud es de 32 metros y un ancho de calzada de 8,4 metros. Se puede observar una estructura con pocos problemas constructivos y en buen estado general.



## ***Puente sobre Arroyo la Esperanza:***



**Vista superior e inferior.**



## ***Puente sobre Arroyo la Esperanza:***



**Vistas de la socavación en el estribo sur del puente.**

**Estado del apoyo bajo estribo Sur.**





## ***Inspección preliminar:***

---

***Puente sobre el Arroyo Gená:*** Se halla ubicado sobre la Ruta Provincial N° 39 en el km 43,80 (Villa Matero).

Puente de uso carretero, fue construido en el año **1984**. Consta de tablero de hormigón armado con carpeta de desgaste bituminosa, barandas defensas metálicas. Con un ancho de calzada de 8,4 m y una altura máxima de 8,1 m. Está formado por seis vigas longitudinales post-tesadas in situ, tres pilas y dos estribos. También en este puente se encontró parte de los encofrados utilizados, y falta de terminación en la construcción.



## ***Puente sobre el Arroyo Gená:***



**Vista Superior e inferior con vista a pila este .**



## ***Puente sobre el Arroyo Gená:***

---



**Viga longitudinal afectada por corrosión y Columna de pila con remoción de pasta de cemento.**



## ***Puente sobre el Arroyo Gená:***



**Vista de los desagües con oscurecimiento del hormigón que recibe el agua.**



## ***Inspección preliminar:***

---

***Puente sobre el Río Gualeguaychú:*** Se encuentra emplazado sobre la ruta Provincial N° 39 al Km 28,50 (Herrera).

Puente carretero, no se ha encontrado aún la fecha de construcción, se sabe que la ampliación fue en el año **1984**, tiene un largo de 187 m un ancho de calzada de 8,4 m y una altura máxima de 9,30 m. El tablero es de hormigón armado in situ, con barandas mixtas y visiblemente deterioradas, consta de 5 pilas y dos estribos.



## ***Puente sobre el Río Gualeguaychú:***



**Vista del tablero y baranda metálica.**



## ***Puente sobre el Río Gualeguaychú:***



Vista inferior de tablero y vigas con armadura visiblemente afectados por procesos corrosivos.



## ***Puente sobre el Río Gualeguaychú:***



**Vista inferior del estado de las juntas y de los dispositivos de apoyos.**

**Vista superior del estado de las juntas**





## ***Puente sobre el Río Gualeguaychú:***



**Vista inferior del puente.**



## ***Inspección detallada:***

---

Se comenzó con el puente sobre el **Arroyo Calá**.

Debido a la falta de antecedentes técnicos sobre la obra, en esta etapa se realizó un relevamiento geométrico de todas las partes del puente. Luego de reconocida la estructura se efectuó una selección de las zonas para examen visual detallado y se procedió a la elaboración del plan de muestreo. Se seleccionaron las técnicas y zonas de ensayos, mediciones y análisis físico-químicos en el hormigón, armadura y en el medio ambiente circundante.





## Inspección detallada:

Punto	Elemento	Y [m]	Z [m]	Velocidad de corrosión [ $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ ]	Potencial (mV)	Resistencia Eléctrica [ $\text{K}\Omega$ ]
1	E1	0	-1,05	0,02	-25,6	3,80
2	V4	1,50	-1,25	0,007	174,4	10,38
3	V5	1,50	-1,25	0,008	135,1	6,99
4	V4	1,50	-1,25	0,02	28,3	5,34
5	V1	2,00	-1,25	0,008	176,8	10,31
6	V4	8,00	-1,25	0,002	-48,5	17,40
7	V2	10,00	-1,25	0,003	93,5	7,94
8	V2	7,00	-1,25	0,134	57,2	5,60

Corrosión [ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ]: < 0,1      Despreciable  
0,1 - 0,5      Moderado  
0,5 - 1      Elevada  
>1      Muy elevada





## ***Barandas:***

---

- El sistema constructivo, es de hormigón armado, separado en cuatro tramos. Se encuentran fijadas a un voladizo lateral, unido al tablero central. No se observan problemas de impacto sobre las barandas, ni problemas de fisuración. El ensayo con el esclerómetro arrojó un valor promedio de rebote de 46.
- No se registraron problemas de fallas constructivas (oquedades, falta de recubrimientos, etc) en estos elementos. Tampoco se detectaron manchas de óxido, ni armaduras expuestas.
- Al momento de realizar la medición de profundidad del frente de carbonatación, esta no fue significativa.



## ***Tablero:***



**Vista de las múltiples fisuras del tablero del puente.**



**Juntas de dilatación entre tablero y losa de aproximación.**



## ***Tablero:***

---



Vista del tablero del puente, luego de la re-pavimentación. Juntas de dilatación entre tablero y losa de aproximación.



## **Tablero:**



Las múltiples fisuras observadas, algunas de ellas con espesores mayores a 3 mm en la cara superior del tablero, favorecen los procesos de lixiviación, visibles en la cara inferior. Donde se observó el mapeo y midieron espesores de 0,1 mm en promedio.

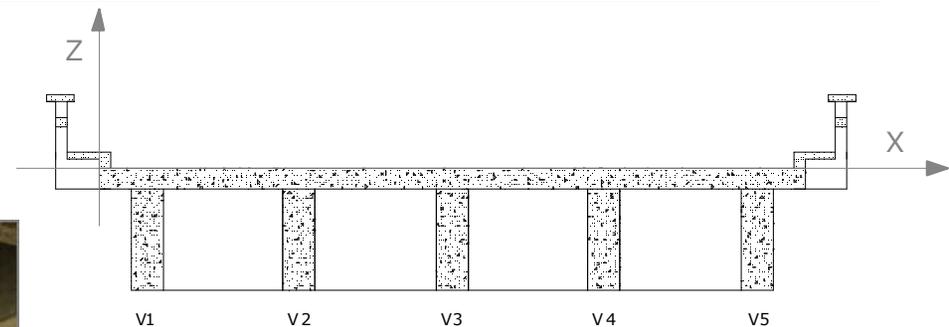
Los estudios hechos con esclerómetro, dieron un valor de rebote promedio de 48.

Se hicieron estudios de carbonatación, en varios puntos de la superficie superior e inferior, dando resultados negativos en el momento de realizar las pruebas.





## Vigas:



El sistema constructivo, es de hormigón armado in-situ.

Consta de cinco vigas longitudinales de 1,25m por 0,38m, apoyadas en dos estribos extremos y dos pilas interiores.

Posee dos vigas transversales por tramo, y una en cada estribo.



## Vigas:



Existen múltiples problemas de fallas constructivas en toda la longitud de las vigas.

Se observaron oquedades, que dejan a las armaduras principales expuestas al medio ambiente.

También se verificó la presencia de hierros usados como separadores sin recubrimiento. Estos hierros, con procesos de corrosión evidentes, están en contacto con las armaduras principales, pudiendo afectarlas.



## Vigas:



Todas las pruebas de carbonatación, incluidas las que se hicieron en grandes oquedades de las vigas, dieron resultados negativos al momento de realizar los ensayos.

Se observaron fisuras, en toda la longitud de las vigas, a distancias iguales o mayores de un metro entre sí, con espesores que variaron de 0,075 mm a 0,1 mm.

Las pruebas con esclerómetro, dieron una resistencia superficial promedio de 52 MPa.



## ***Patología de pilas y estribos:***

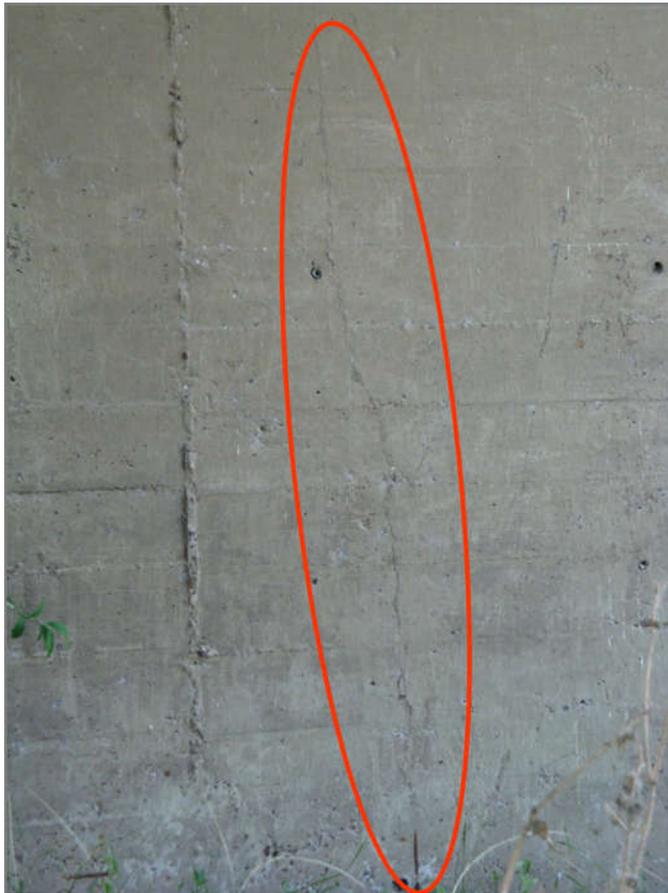
Las pruebas de carbonatación hechas tanto en las vigas de borde sobre los estribos como en las pilas dieron resultados negativos.



Se observó lixiviación de la pasta de cemento, exposición de los áridos y armadura corroída.



## ***Patología de pilas y estribos:***



En la pila P1, se observaron fisuras verticales. La más importante, localizada sobre la cara este, con espesor en promedio de 0,4 mm, 3 metros de longitud.

Se constataron fisuras que podemos considerar como normales, aunque deberá controlarse su abertura periódicamente.

Los estudios hechos con el esclerómetro, dieron un valor de rebote promedio de 50.



## ***Patología de pilas y estribos:***



Se observaron problemas de erosión y deterioro en el recubrimiento de los estribos.



## **Análisis del agua de contacto:**

El contenido máximo de ión cloruro (Cl-) en el hormigón endurecido establecido por el Proyecto CIRSOC 201:2002, en su Tabla 2.6, se muestra a continuación.

Hormigón	Condición de exposición en servicio	Contenidos máximos de ión cloruro (Cl) en el hormigón endurecido (IRAM 1 857)
		% en masa del cemento
Sin armar	Cualquier condición	1,20
Armado, con curado normal	Medio ambiente con cloruros	0,15
	Medio ambiente sin cloruros	0,30
Armado, con curado a vapor	Cualquier condición	0,10
Pretensado	Cualquier condición	0,06



## Análisis del agua de contacto:

Estos valores son válidos para clima moderados, con temperaturas medias anuales iguales o menores que 25°C y aguas estacionarias o que se mueven lentamente (velocidad igual o menor que 0,8 m/seg.), como en este caso particular.

Grado de ataque	Sulfatos solubles (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) (1)	Magnesio (Mg <sup>2+</sup> ) (2)	pH (3)	Disolución de cal por ataque con ácido carbónico (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ) (4)	Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (5)
	mg/litro	mg/litro	-----	mg/litro	mg/litro
Moderado	150 a 1.500	300 a 1.000	6,5 a 5,5	15 a 40	15 a 30
Fuerte	1.500 a 10.000	1.000 a 3.000	5,5 a 4,5	40 a 100	30 a 60
Muy fuerte	Mayor de 10.000	Mayor de 3.000	Menor de 4,5	Mayor de 100	Mayor de 60
(1); (2) y (3)	Se determinarán con el método especificado en la norma IRAM que se redactará al efecto				
(4) y (5)	Se determinarán con el método especificado en la norma IRAM 1 708. ( Se encuentra en etapa de redacción el método para determinación de amonio).				

Los valores Límites de sustancias agresivas en aguas de contacto dados por el Proyecto CIRSOC 201:2002



## ***Análisis del agua de contacto:***

---

Los análisis de laboratorio dieron los siguientes resultados:

\*Residuos sólidos (total de sales solubles) = 700 p.p.m.

\*Sulfatos = 80 p.p.m.

\*Cloruros = 78 p.p.m.

\*Ph = 7

En este caso se obtuvo un contenido de ion cloruro del 0,022% (estimando 350 kg/m<sup>3</sup> de cemento), lo que permitió inferir que esta dentro del máximo permitido.



## ***Análisis del agua de contacto:***

---

Para el sulfato, el valor está por debajo de la clasificación de moderado, pero teniendo en cuenta las clasificaciones internacionales:

- < 150 p.p.m.....leve
- 150 a 1500 p.p.m.....moderado
- 1500 a 10000 p.p.m.....severa
- > 10000 p.p.m.....muy severa.

se puede considerar como leve.



## ***Conclusiones de la primer etapa:***

---

- No se obtuvieron datos correspondientes al período de ejecución, ni de antecedentes en general, de las estructuras de los puentes.
- La metodología adoptada para la inspección se ajustó a los requerimientos.
- De los cinco puentes inspeccionados, en dos de ellos se observaron las estructuras con pocos problemas constructivos y en buen estado en general, estos son: el **punte Alto Nivel sobre las vías del ferrocarril en Basavilbaso** y el **punte sobre Arroyo La Esperanza**, si bien en el primer caso se observaron faltas de terminaciones, signos de haber sido interrumpida la construcción antes de su finalización, no se detectaron patologías que pongan de manifiesto la posibilidad de que se estén desarrollando procesos corrosivos en sus armaduras. Se recomiendan trabajos de mantenimientos rutinarios, e inspecciones anuales.
- En los tres restantes, si se apreciaron afectaciones de diferentes índoles, que ameritan continuar con las inspecciones detalladas, como son:



## ***Conclusiones de la primer etapa:***

---

- En particular de los trabajos realizados en el Puente sobre Arroyo Calá, se puede concluir que:
  - Las resistencias superficiales en los diferentes elementos fueron uniformes, esto se puede inferir comparativamente por los valores arrojados en los ensayos con esclerómetro.
  - No se detectaron problemas de carbonatación.
  - En el 75% de los elementos analizados se detectaron **problemas de corrosión de armaduras** causadas, en principio, por la suma de diferentes factores. Comparándolos con el modelo de Vida Útil dado por Tutti (1982), se puede concluir que el proceso de corrosión está en período de propagación. En estos casos se considera necesario establecer el grado y ritmo de deterioro de la estructura mediante mediciones de velocidad de corrosión. Estudios de este tipo son fundamentales a la hora de encarar tareas de mantenimiento o de reparación.
  - En cuanto a lo observado en las zonas inferiores de pilas, se están estudiando las posibles fuentes de soluciones ácidas.

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

***Mg. Ing. Schierloh María Inés***  
***Docente - Investigadora***  
***Fac. Reg. C. del Uruguay - UTN***  
***[schierlm@frcu.utn.edu.ar](mailto:schierlm@frcu.utn.edu.ar)***

