



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



SENAMHI Día Mundial del Agua 2011

Formación del Cañón Urbano de Lima, soluciones parciales de Ingeniería

Julio Kuroiwa Zevallos

Laboratorio Nacional de Hidráulica

Universidad Nacional de Ingeniería

Con la colaboración de: F.M. Romero, L.F. Castro, A.J. Mansen; R. Vega, E. Orosco y J.I. Montenegro



Ministerio
de Economía y Finanzas



Ministerio
de Relaciones Exteriores



Ministerio
de Energía y Minas



Ministerio
de Vivienda, Construcción
y Saneamiento



Antecedentes

- ◆ El año 2001 el expositor así como el Ing^o Alfredo Mansen V. recibieron una llamada debido a que el Puente Dueñas, que une El Cercado con San Martín de Porres había sido declarado en emergencia.
- ◆ Según primeras informaciones, se había erosionado el “estribo derecho” del puente

Detalle de socavación en “estribo derecho”

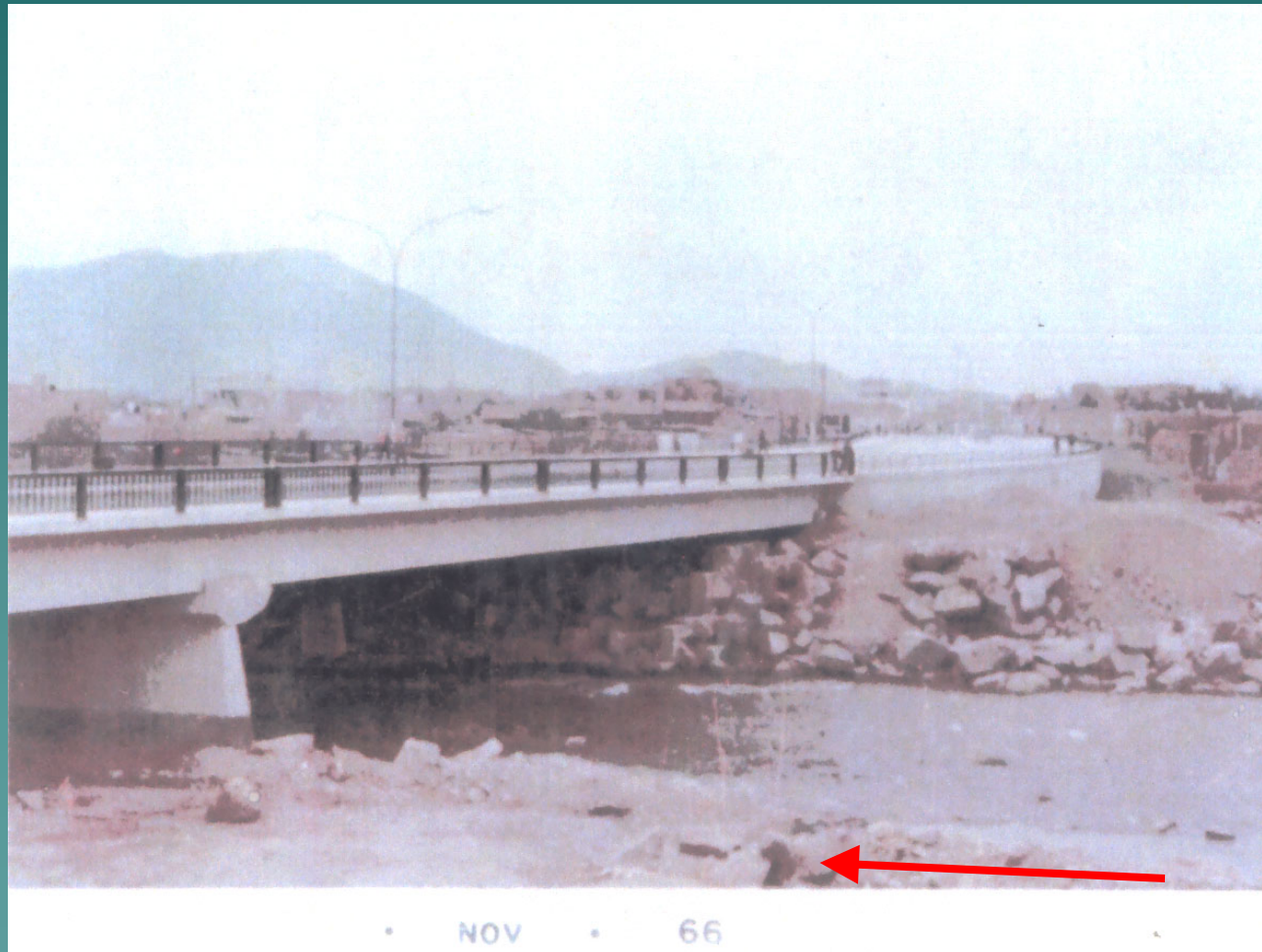


Socavación por debajo de cimentación de pilar

Puente Dueñas Mirando aguas abajo (2001)



Río Rímac (1966) Aguas Arriba del Puente



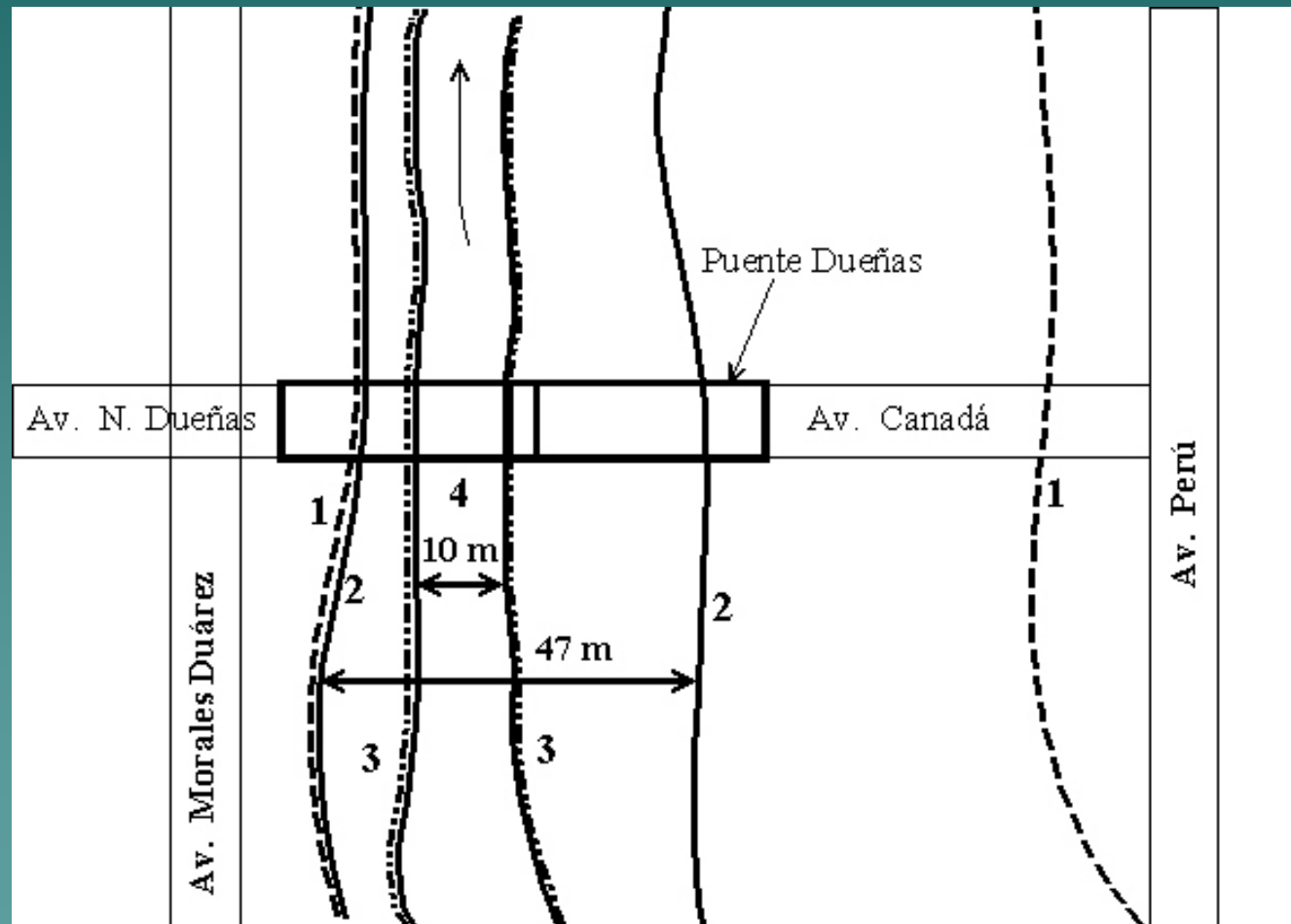
Evolución del río - Sección Puente Dueñas

- ◆ Antes 1966: Río Trenzado / Ancho posiblemente superior a 100 m.
- ◆ 1966: Construcción del Puente - Ancho = 60 m. Puente Longitud: 70 m.
- ◆ 2001: Ancho del río 10 m. Cauce profundizado en más de 8 m. El agua solo pasa por el vano izquierdo.

Puente Dueñas (2001)



Secuencia de Evolución del río Rímac



Posibles causas de la formación del Cañón Urbano de Lima

- ◆ Construcción de Puente de Piedra o Puente Trujillo. (1610)
- ◆ Construcción de la vía férrea (Ferrocarril Lima – Callao y Ferrocarril Central). (1870)
- ◆ Construcción del Puente del Ejército (1936)
- ◆ Construcción de la vía de Evitamiento (1968).
- ◆ Incorporación de altas tasas de sedimentos en tramo urbano (Basura).
- ◆ Obras de control de erosión construidas artesanalmente por los pobladores.
- ◆ ¿Todas las anteriores?

Geología de
Lima – en
Planta:
Depósitos
aluviales del
río Rímac
depositados
sobre una
depresión
pre-
existente.

Río Rímac

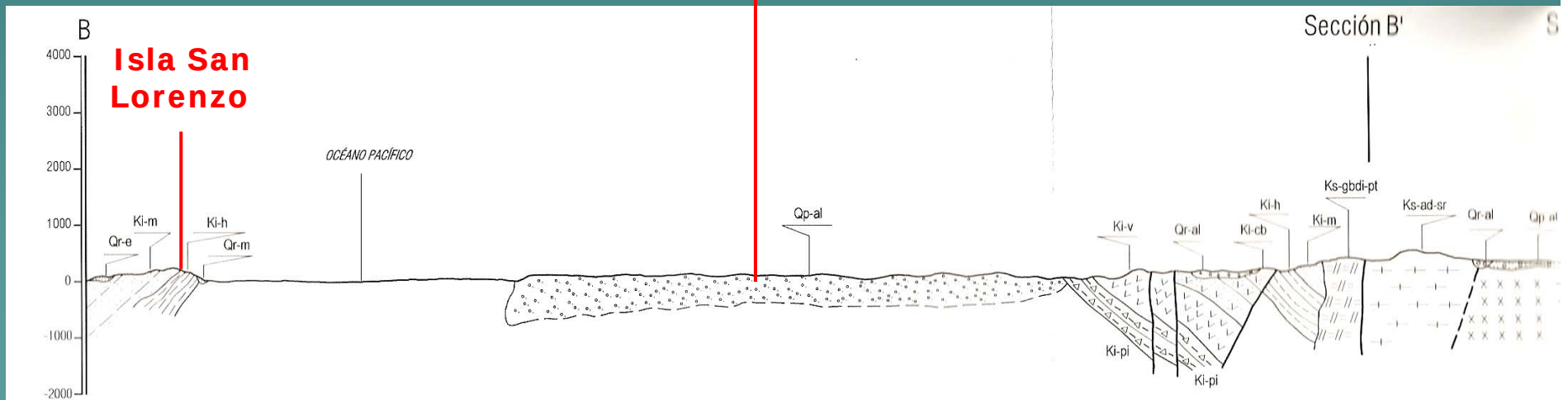


Perfil estratigráfico de Lima

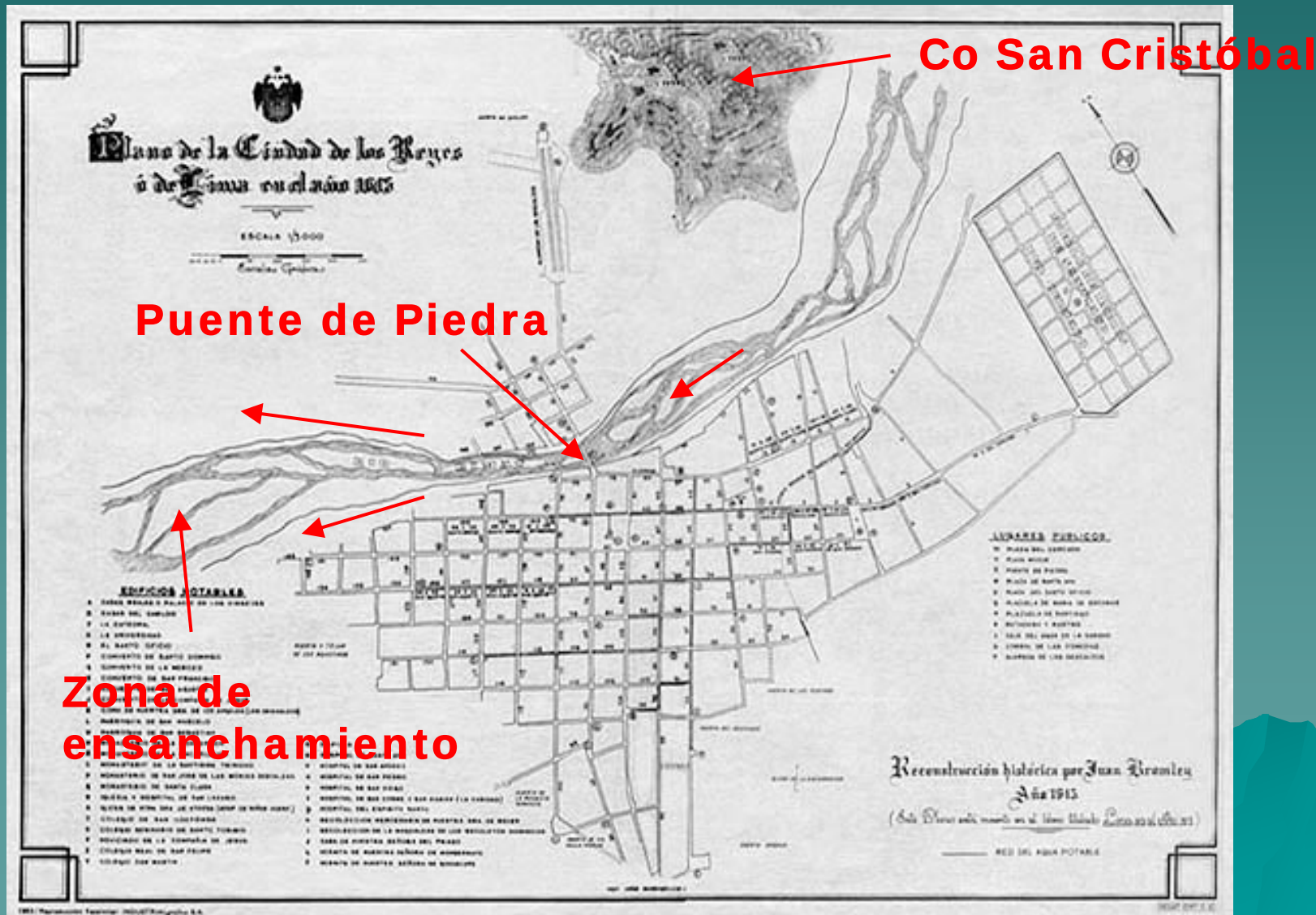
Cono aluvial del río Rímac es una planicie costera donde se asienta la ciudad de Lima, sobre lo que fue una depresión.

La depresión ahora está rellena por gravas y cantos redondeados, arenas y arcillas formando un potente apilamiento.

Extraído de Boletín 43. Serie A. Carta Geológica Nacional. Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Palacios, Caldas y Vela (1992) – INGEMMET.



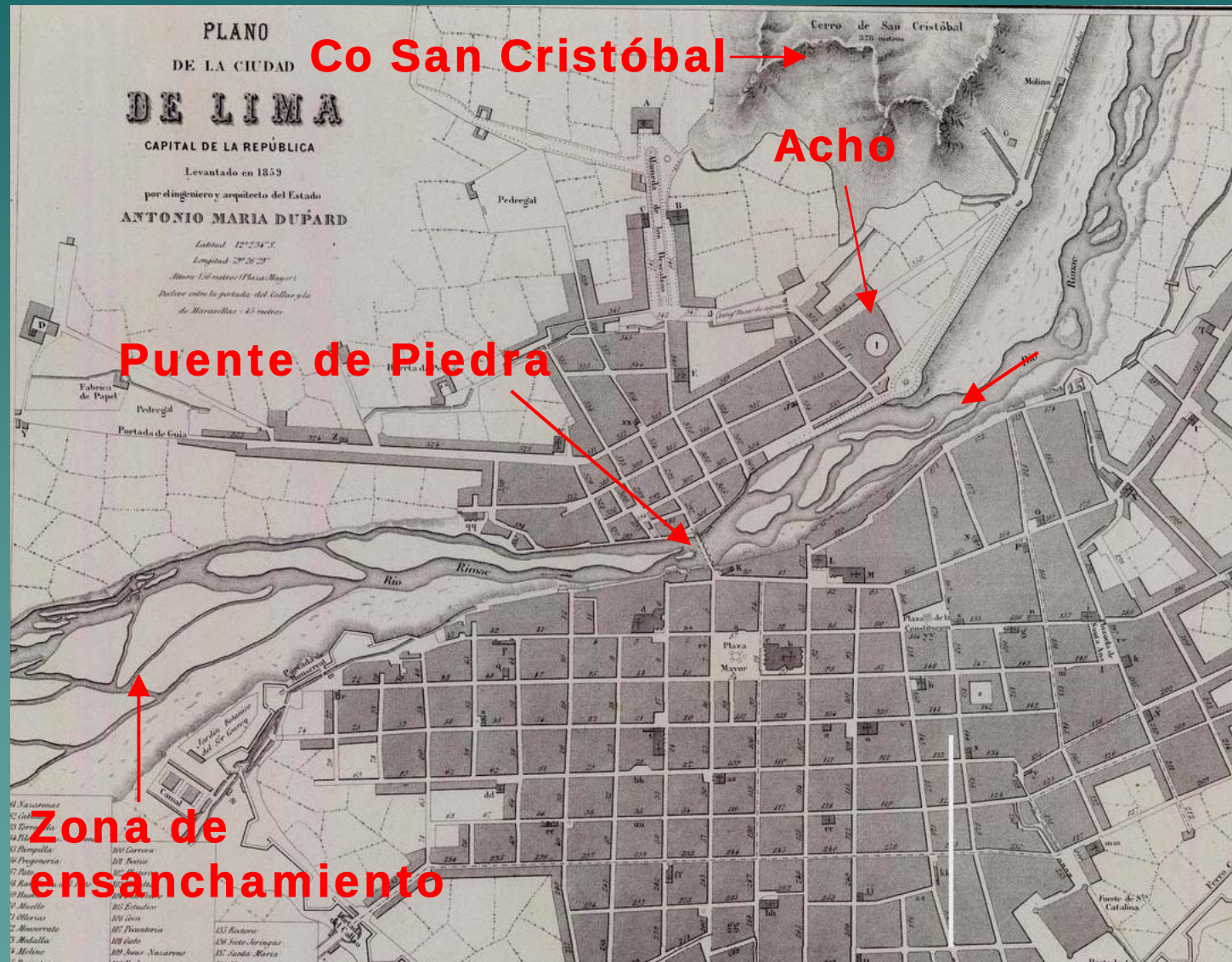
Reconstrucción Histórica de Plano de Lima a 1613



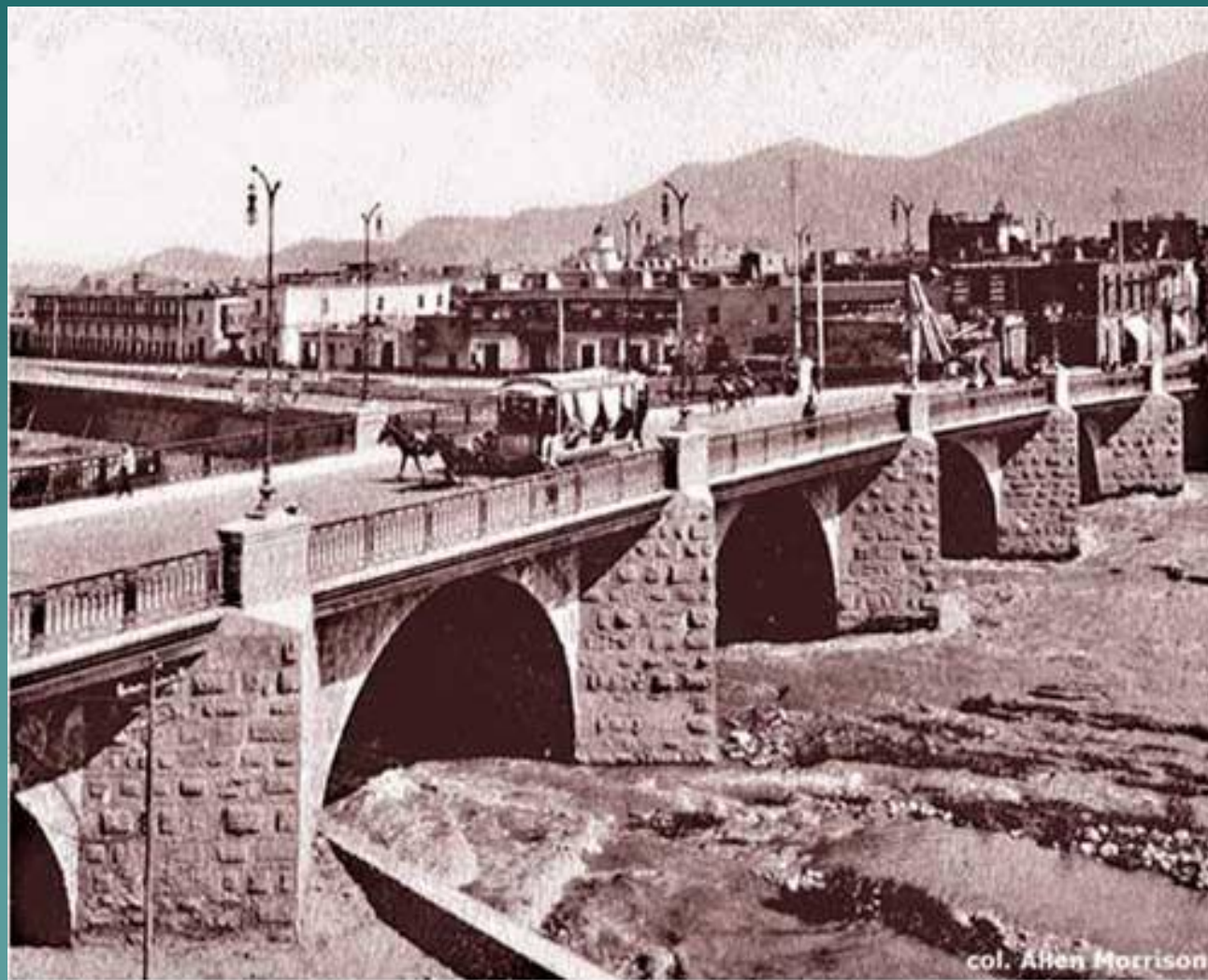
Puente de Piedra (Const. 1610)



Plano de Lima (A.M. Dupard, 1859)



Puente de Piedra



Vista de Lima en 1868

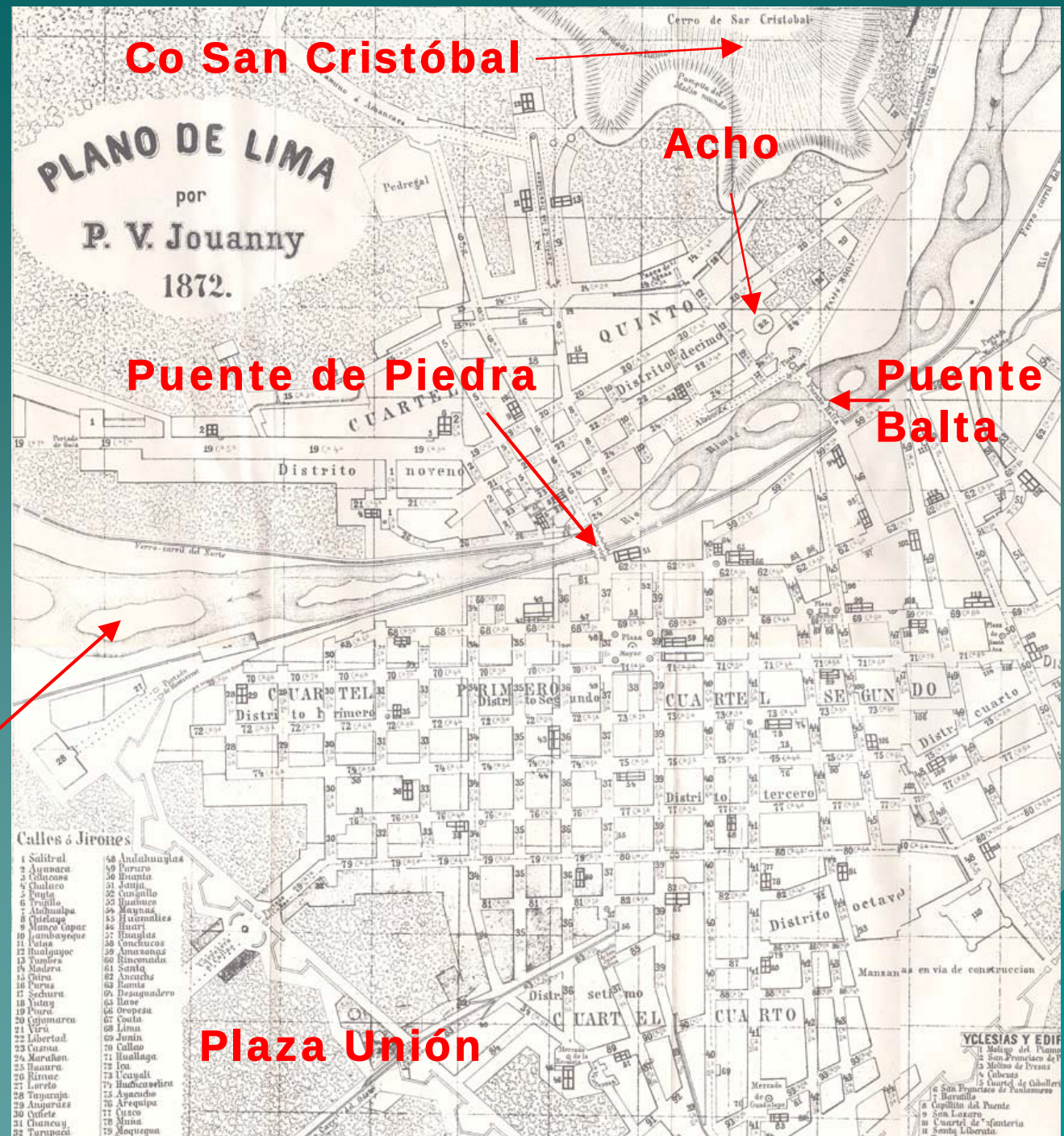


Construcción de la Vía Férrea

- ◆ Según Regal (1965), el trazado del tren (para el año 1905) era:
- ◆ La línea ocupaba unos terrenos bajos al pie de la antigua muralla, ya demolida en parte, alcanzándose la estación de Monserrate (Km 12.4).
- ◆ En ese lugar se entraba por medio de un relleno en cuyas vecindades se encontraban unos baños populares llamados por los limeños de “Ño Rumual” y se entraba en la caja del río, se recorría la estación de La Palma, establecida con posterioridad (Km 13.0) y se seguía hasta el Puente de Piedra, pasando **por debajo de su primer arco, alcanzándose la estación de Desamparados (Km 14.0).**

Plano de Lima P.V. (Jouanny, 1872)

**Zona de
ensanchamiento**

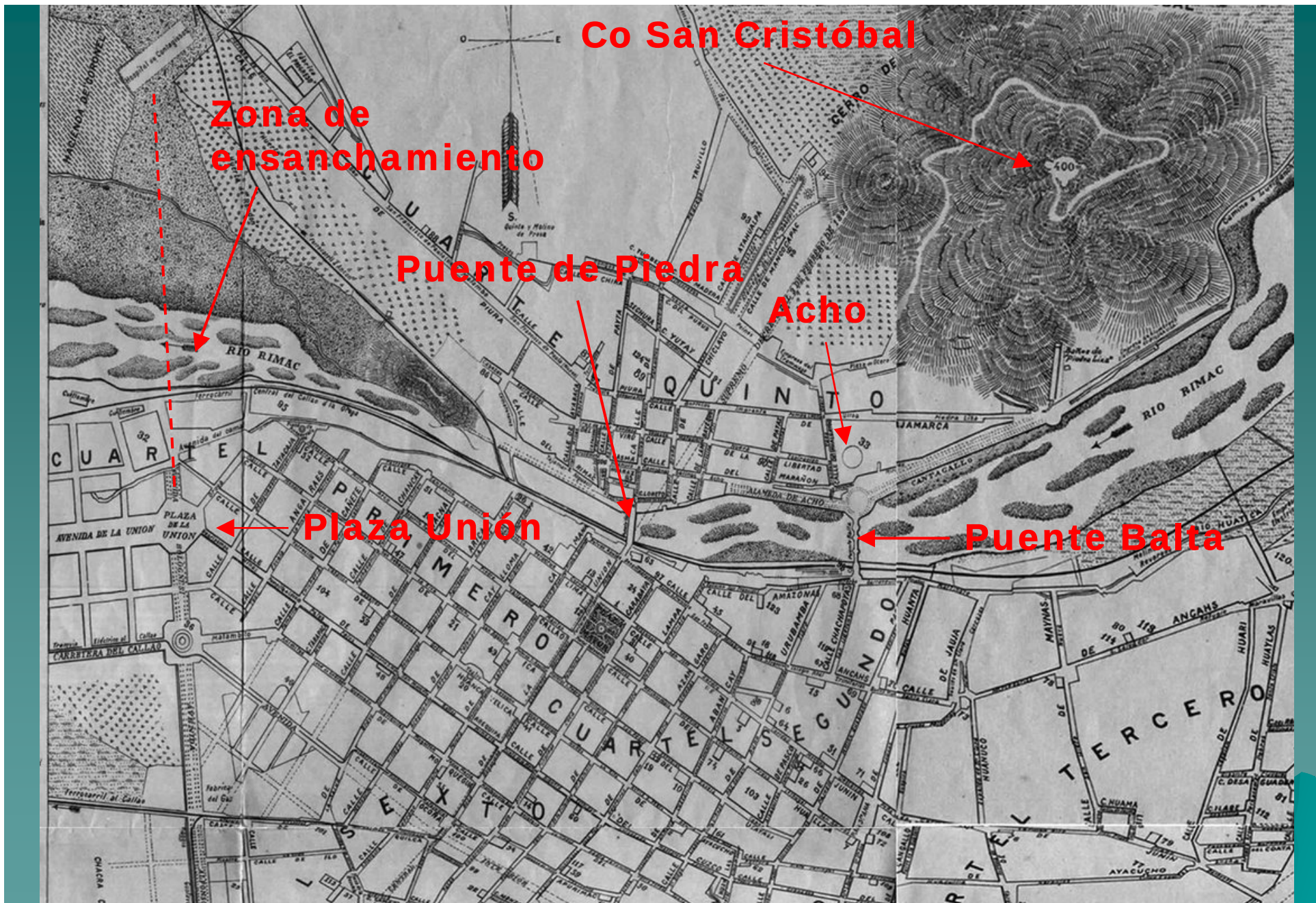


Puente Balta

- ◆ Inicio de construcción: 1869.
- ◆ Término: 1919. Inaugurado por A.B. Leguía.
- ◆ La estructura reposa sobre tres grandes arcos de hierro y un cuarto más pequeño que da paso a los rieles del tren que va hacia la sierra de nuestro país.
- ◆ En los últimos años ha sido restaurado y reforzado, debido a que estuvo en peligro de desmoronarse a consecuencia de las crecidas del río. Actualmente, une la avenida Andahuaylas, Cercado de Lima, con la explanada de la Plaza de Acho en el Rímac.

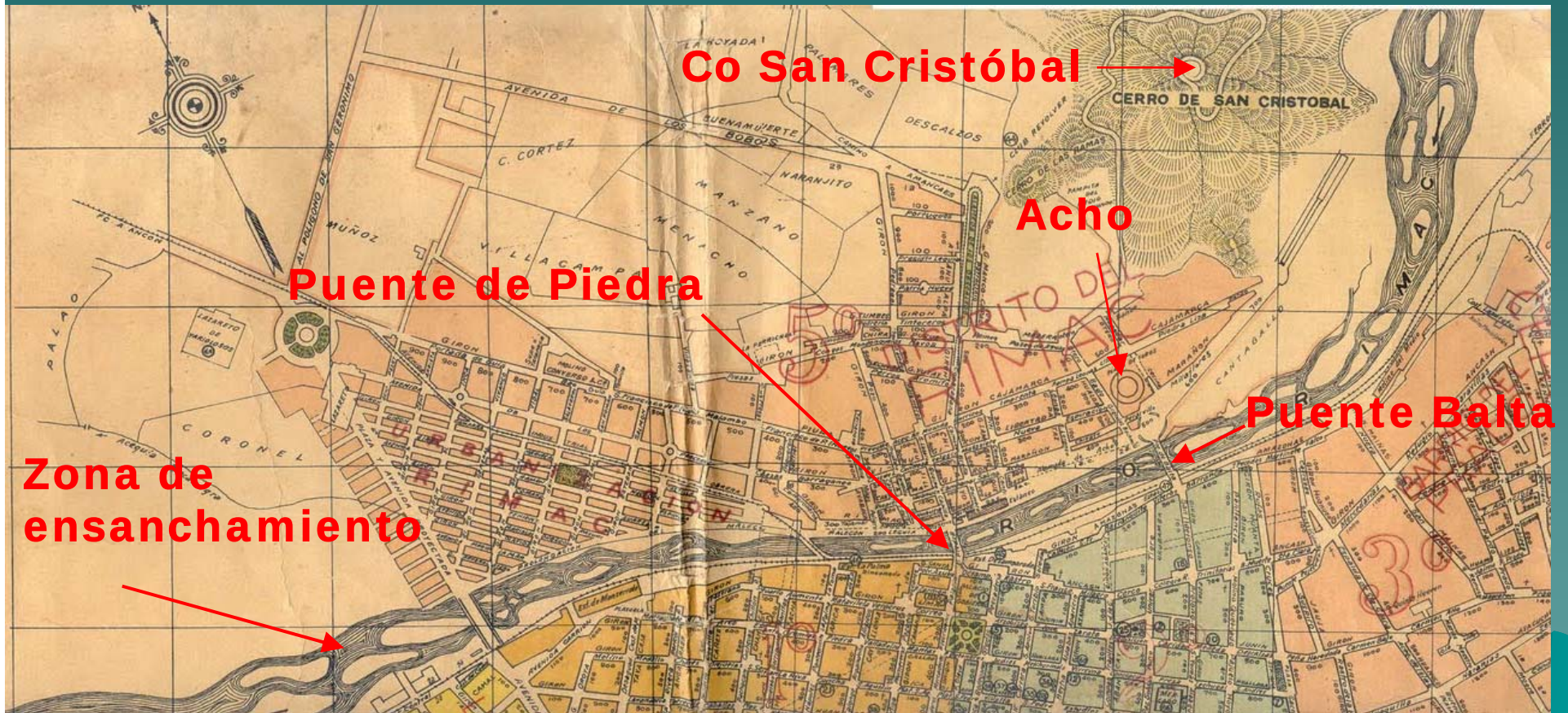
Puente Balta





DETALLE - Plano de Lima por S.M. Basurco (1904)

Plano de Lima - 1928



Plaza Unión

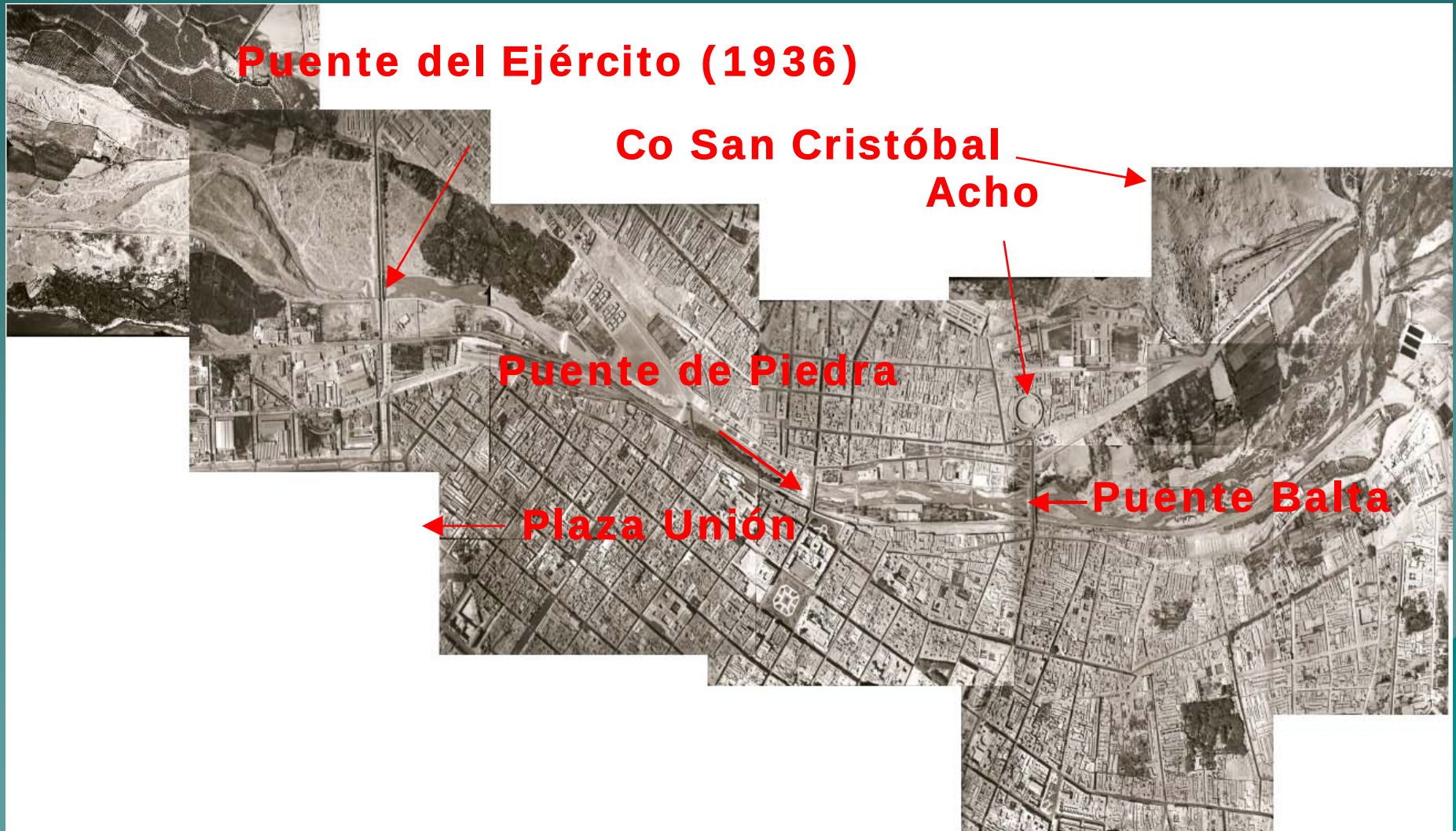
Puente el Ejército (1936) -I

- ◆ Durante el gobierno del general Benavides y al conmemorarse el IV Centenario de la Fundación de Lima, se construyó, fue una estructura de acero de 60 metros de longitud por 13 de ancho, fabricada en la planta Gute Hoffnunghhuste. La obra fue realizada por la firma alemana Ferrostal-Essen, e inaugurada el 31 de diciembre de 1936, en la administración del alcalde Luis Gallo Porras.
- ◆ El Puente del ejército fue construido el año de 1936 y está apoyado sobre cuatro pilares de concreto armado con una cimentación tipo cajón de 7.50 m de altura.
- ◆ Según el “Estudio Hidrológico –Hidráulico de obras de protección de los apoyos del puente EL EJERCITO de la Dirección de caminos, oficina de control de calidad, Área de geología, Cimentaciones y Drenaje del M.T.C.V.C., menciona que en la época en que se construyó el puente, y en tal sección existía un desnivel de caída de 4.00 m, por lo que fue establecida una profundidad de cimentación de 7.50 m.

Puente El Ejército - II

- ◆ En el Año de 1997, el desnivel de la caída en la sección del Puente tenía un desnivel de 16 m. Lo cual puso en riesgo la cimentación del puente, lo que llevo a que se construyan inmediatamente obras provisionales de reforzamiento de la cimentación. El ancho del río en la Sección tiene aproximadamente 58 m. Aguas abajo corre encañonado con anchos menores y en curvatura.
- ◆ Las obras de encauzamiento del río, aguas arriba del puente y la propia sección del puente han estrechado su ancho natural. El cual ha favorecido la erosión del fondo aguas abajo del puente.
- ◆ El proceso de erosión del cauce del río tiene su propia dinámica donde juega su papel importante la presencia de caudales de avenidas. En El año e 1997 el Laboratorio nacional de Hidráulica fue encargado por el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, para realizar el estudio del Modelo Hidráulico de Fondo Móvil del río Rímac, Tramo Puente del ejercito, en el que se trato el estudio del fenómeno de socavación al pie del puente del ejército y los patrones de flujo del río en dicho tramo.

Fotos Aéreas de Lima (SAN, 1944)



Detalle – Fotos Aéreas Río Rímac, aguas abajo de Puente del Ejército – 1944 - Encañonamiento

El río Rímac empieza a
angostarse aguas abajo
del puente metálico (El
Ejército)



Cañón Urbano de Lima, aguas abajo de Puente El Ejército



Puente El Ejército - 2010



Plano de Lima (Dupard, 1859) sobre imagen aérea actual



Ocupación del cauce antiguo por la Vía de Evitamiento



Vía férrea en Margen Izquierda



Vista del Puente y muros de contención que protegen la vía férrea y la Vía de Evitamiento



Cauce del Rímac y Vía de Evitamiento



Asentamiento de un pilar del Puente Balta (2009). Tramo donde el río ha sido estrechado.

Fuente: Diario La República (2011)

Sociedad

FUNCIONARIOS DE EMAPE INSPECCIONAN LOS DAÑOS

Rescatarán el histórico Puente

• Indeci iniciará campaña de puentes cuando los caudales del Rímac y el Chillón disminuyan. Presidente García pide apoyo del Ejército.

Jean Polo Martel.

Si bien la Empresa Municipal Administradora del Peaje de Lima (Emape) y el Instituto de Defensa Civil (Indeci) descartaron el colapso de cualquier puente de la capital, ambas instituciones coincidieron ayer en que será necesaria una revisión de sus estructuras, muy antiguas en algunos casos, cuando los caudales de los ríos Rímac y Chillón disminuyan.

Sobre todo, en el histórico puente Balta, cuyas bases cedieron ante la fuerza de las aguas.

"Una de las causas del derrumbe parcial de la base central del puente Balta fue que el sábado el caudal del río Rímac se elevó sobre sus valores normales. Son situaciones que no se pronostican y a ello se suma que el cauce no está libre de piedras u objetos, lo que permite que la corriente golpee con fuerza las bases de la estructura", informó el asesor técnico de Emape, Armando Molina, quien supervisó ayer las tareas de limpieza de este paso, conjuntamente con personal de Indeci.

► "La indicación es que se reparen los daños y se recupere la estructura".

—JAMES ATKINS.

De acuerdo con el funcionario existen los elementos para devolverle la parte estructural al puente pues la consigna es recuperarlo.

"En las próximas semanas, cuando las lluvias cesen en la sierra, se verificará hasta la parte subterránea para saber cuál es su verdadero estado", sostuvo Molina.

REDIRIGIRÁN AGUAS

Por su parte, el director regional de Defensa Civil Lima-Callao, James Atkins, anunció que luego de la temporada de precipitaciones, realizarán una campaña de puentes a fin de hacer un "análisis de riesgo" en estas estructuras.

"Esta semana se redirigirán las aguas del Rímac hacia otra parte para que no sigan dañando la base del puente Balta. La indicación es que se recupere y se reparen los da-



HERIDO. El histórico puente Balta sufrió un daño mayúsculo en una de sus bases por la fuerza de las aguas. Emape anunció el inicio de los trabajos de recuperación.



FURIOSO. El paso del río Habbador también golpea con furia al puente Trujillo.



No hay mantenimiento en las estructuras.

CIFRAS

3 años duró la construcción del puente Balta.

300 vehículos por hora se desplazaban por el puente Balta hasta el día de su colapso.

EL DATO

DAÑADOS. Los puentes Del Ejército y Trujillo, en el Cercado de Lima, presentan serios daños en sus estructuras. En el primer caso, el desmonte de la dirección del cauce hacia las paredes de defensa originando rajaduras. El soporte metálico del puente Trujillo, presenta también grandes grietas.

ños", indicó.

Si embargo, el funcionario de Defensa Civil reconoció que a pesar del mantenimiento superficial (pista, veredas y barandas) realizado hace algunos años en la antigua estructura que une los Barrios Altos y el distrito del Rímac, desconoce acerca de trabajos de reparación en sus bases rocosas.

"Se trata de un puente que tiene cerca de un siglo y medio de antigüe-

dad y posee un gran valor histórico". Por ello, agregó, se debe considerar la opinión del Instituto Nacional de Cultura (INC) antes de pensar en cualquier posibilidad de derrumbe. Y es que luego de 139 años de existencia, el puente Balta yace herido y solicitó. Por eso, a fin de evitar cualquier accidente se ha dispuesto su cierre temporal hasta que duren los trabajos de mantenimiento y remodelación.

SOLUCIÓN

"El problema del puente Balta es que sus pilares fueron cavados a poca profundidad y que no se previeron, en su momento, las futuras crecidas del río Rímac. A ello se suma que en años anteriores las autoridades no se preocuparon por dar el debido mantenimiento a los pilares del puente", informó a La República el ex decano del Colegio de Ingenieros de Lima Javier Piqué del Pozo.

Planes para el Río Rímac

Fuente: Agencia
Andina (2011)

Jueves, 20 de enero de 2011 | Año del Centenario de Machu Picchu para el Mundo | Noti

andina
agencia peruana de noticias

Últimas Noticias REGIONALES>> (17:23) Emprendedores puneños agilizan trámites de formalización de empresas en 48 horas LOCALES>>

INICIO POLÍTICA ECONOMÍA LOCALES REGIONALES JUDICIALES MUNDO CULT

TITULARES SERVICIO FOTOGRÁFICO VIDEOS ESPECIALES SERVICIO RADIAL FACEBOOK TWITTER

Enviar Noticia Imprimir A+ A-

¿Qué son estos iconos?

★★★★★

Municipalidad de Lima creará un parque de cuatro kilómetros en sus riberas

12:04 En menos de dos años, el río Rímac reverdecerá y será un punto de atracción turística

Arquitecto Ortiz de Zevallos dijo que este año puede empezar canalización de río

Por Azucena Romaní
Lima, ene. 09 (ANDINA). La historia del río Rímac, el río hablador que surte de agua a la ciudad de los Reyes, cambiará categóricamente en poco tiempo, cuando sus alrededores vuelvan a vestirse de verde y recupere la prestancia de antaño que lo hacía un lugar agradable para recorrer.

En menos de dos años, cuatro kilómetros del río comprendidos entre el malecón Checa y el Puente del Ejército, estarán rodeados de un parque verde que lo convertirá en uno de los atractivos más importantes de la capital, según el proyecto diseñado por la Municipalidad Metropolitana de Lima.

El propósito es pasar del vertedero que es ahora el Rímac a una zona digna de ser visitada por las familias, explicó a la **Agencia Andina** el arquitecto Augusto Ortiz de Zevallos, asesor en temas urbanísticos de la nueva gestión municipal que encabeza Susana Villarán.

El diseño contempla el encauzamiento del Rímac hasta reducir su ancho a solo 45 metros, lo que permitiría ganar, por lo menos, unos 60 metros para la forestación y el reverdecer del río, donde se crearían alamedas y paseos.

"El río Rímac ocupa más lugar del que necesita. La idea es darle un cauce formado y con espacios donde se queden depositados los elementos sólidos que trae el agua", indicó Ortiz de Zevallos.

Anuncian mayores angostamientos

El diseño contempla el encauzamiento del Rímac hasta reducir su ancho a solo 45 metros, lo que permitiría ganar, por lo menos, unos 60 metros para la forestación y el reverdecer del río, donde se crearían alamedas y paseos.

Esto podría generar aumento de las velocidades en el cauce, comprometiendo estructuras como puentes, defensas, etc.

Volvamos al Puente Dueñas

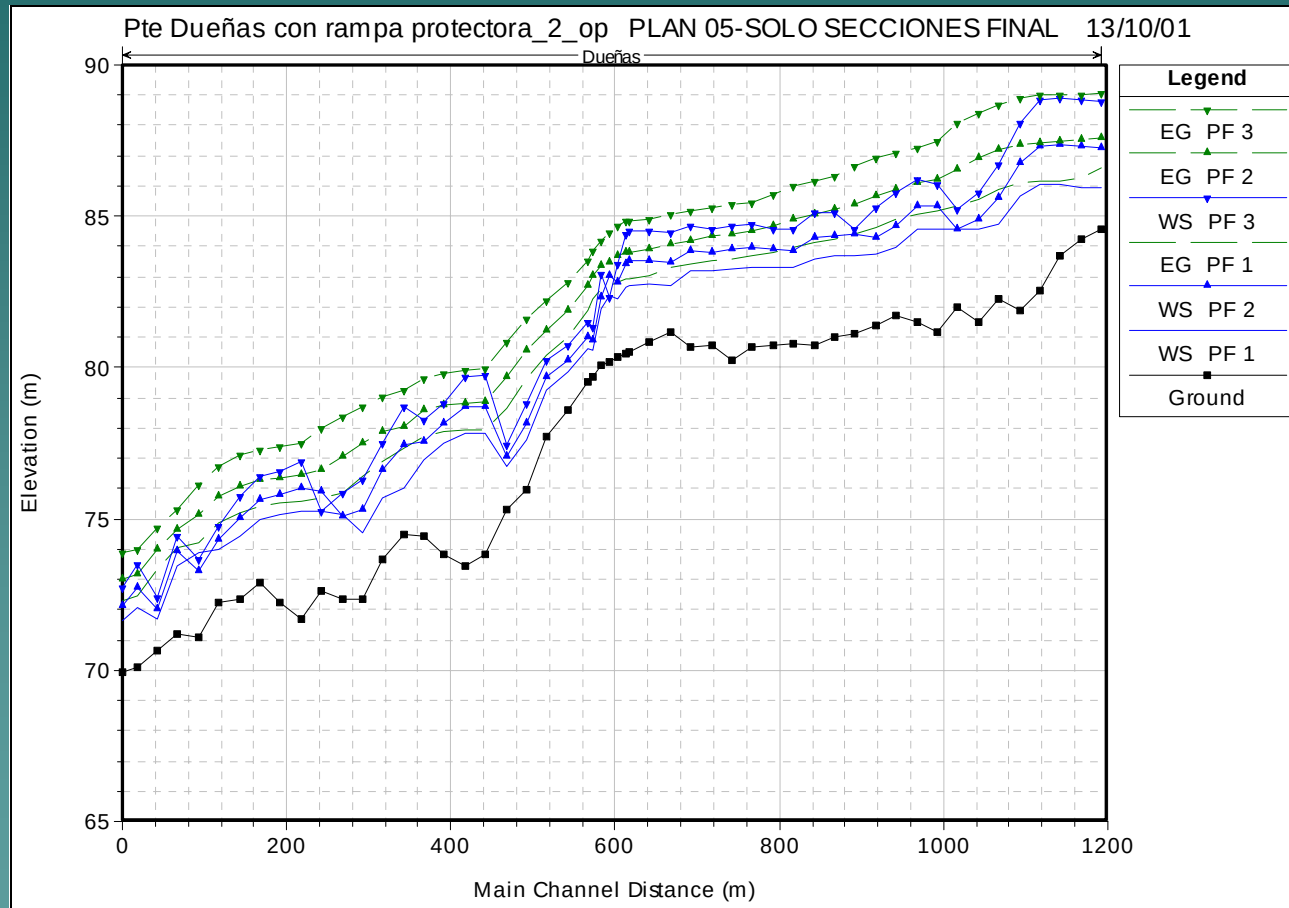
Concepto

- ◆ Desde el punto de vista de restauración del río → Impráctico.
- ◆ El trabajo consistió en proteger el cauce para que no se siga erosionando.
- ◆ Alternativas: protección del cauce con roca → rampa de rocas, con muros a los costados para proteger los acantilados.

Protección de Elementos de Apoyo y del Cauce

- ◆ Se efectuaron trabajos de inyección debajo del pilar central.
- ◆ Se realizó un levantamiento topográfico.
- ◆ Con caudales de diseño de estación R-2 (1920 - 2001) $T = 2$ años, $Q = 128.97 \text{ m}^3/\text{s}$; $T = 5$ años, $Q = 197.55 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ◆ Con el programa HEC - RAS 2.2 b (Simulación hidráulica) se determinaron:
 - Niveles de agua.
 - Esfuerzos cortantes.

Salida Gráfica de Simulación Hidráulica



Criterios de Diseño

- ◆ Protección del cauce: Enrocado / Espesor: $2 D_{50}$. (Criterios: FHWA, USACOE, CSU).
- ◆ Al proteger el cauce --> Se eleva la rasante en la sección del puente.
- ◆ Aguas abajo, es necesario llegar al cauce con la rasante natural.
- ◆ AL final se forma un salto hidráulico, se instala un "pie".
- ◆ Rampa protectora con 2 pendientes: Aguas arriba: 1.33 % y Aguas Abajo: 3.65 %.

Dimensionamiento de Elementos de Protección

- ◆ Estabilidad de Momentos Modificado (1971).
- ◆ $D_{50} = 5.23 S^{0.43} q_d^{0.56}$ (Abt y Johnson, 1991)
 - D_{50} = tamaño de la partícula en pulgadas.
 - S = pendiente en pies / pie.
 - q_d = Caudal unitario

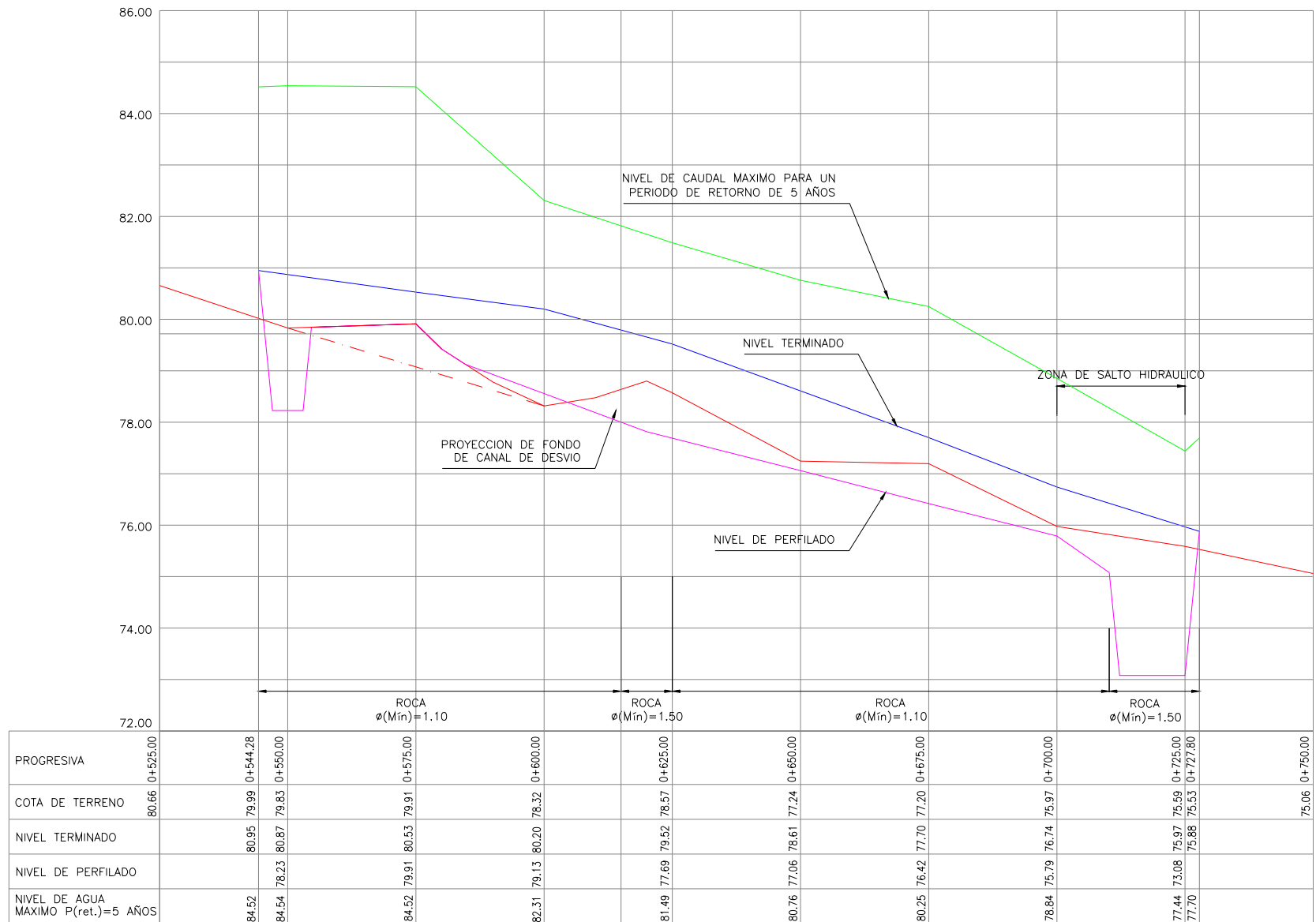
Resultados - Método de Estabilidad de Momentos

Progresiva	T (años)	Esfuerzo Máximo (N/m ²)	Diámetro (m)	Factor de seguridad
620	5	716.88	1.50	1.51
620	5	596.37	1.10	1.34
Demás	5	450	1.10	1.75

Diseño con Método de Abt y Johnston (1991)

Q (m ³ /s)	197.55
b(m)	9.50
q (m ² /s)	20.80
Factor de falla	1.35
Factor de concentración	2.50
q _f (m ² /s)	70.18
q _f (cfs/ft)	755.45
S	0.0365
D50 (pulg)	51.53
D50 (m)	1.31

DISEÑO DE RAMPA PROTECTORA



Rampa Protectora



1) Aguas Arriba



2) Puente



3) Aguas Abajo

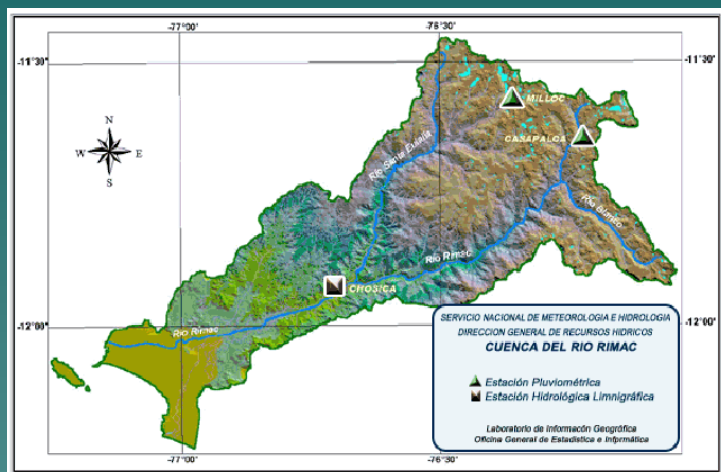
Vista aguas abajo de Puente Dueñas



Comportamiento de la Rampa

- ◆ En la temporada 2001-2002 el caudal pico fue $114 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ◆ En las siguientes temporadas el caudal pico varió entre 81 y $111 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ◆ La estructura resiste el paso del agua.
- ◆ Aguas arriba de las estructuras el flujo es suave.
- ◆ Al llegar al quiebre de la rampa el flujo se vuelve turbulento.

Caudales Máximos Instantáneos en Estación R-2 (Chosica)



Fuente: SENAMHI

Estación	Años	Qmax inst (m3/s)	Observaciones
Chosica R2	2002	114	(*) Hoja SENAMHI
Chosica R2	2003	81	(*) Hoja SENAMHI
Chosica R2	2004	111	(*) Hoja SENAMHI
Chosica R2	2005	77	(*) Hoja SENAMHI
Chosica R2	2006	64	(*) Hoja SENAMHI
Chosica R2	2007	80	(*) Hoja SENAMHI
Chosica R2	2008	102	(*) Hoja SENAMHI

Vista del Puente del Ejército. Verano 2003.



Comportamiento de la Rampa – Verano 2003



Aguas Arriba del Puente

Aguas Abajo del Puente



Conclusiones

- ◆ El Río Rímac ha sufrido una serie de intervenciones, en orden cronológico:
 - Construcción del Puente de Piedra (1610)
 - Construcción del terraplén del Ferrocarril Central (1870)
 - Construcción de varios puentes.
 - Construcción del Puente El Ejército (1936)
 - Construcción de la Vía de Evitamiento.

Conclusiones (2)

- ◆ Se ha analizado documentos históricos y se llega a la conclusión que la construcción del Puente El Ejército es la principal causa de la formación del cañón urbano del río Rímac.
- ◆ El estrechamiento causó erosión aguas abajo del puente, se produjo un proceso de incisión que se propagó en dirección aguas abajo, afectando al Puente Dueñas.

Conclusiones (3)

- ◆ La incisión formada, así como otras intervenciones han causado la pérdida de hábitat y la posibilidad de contar con un espacio natural que sirva además con fines de recreación. El proceso es irreversible y es impráctico pensar en una restauración al estado pre-1936.

Conclusiones (4)

- ◆ La rampa de rocas ha protegido de manera efectiva el cauce del puente Dueñas contra la socavación que ocurre desde Octubre de 2001 hasta la fecha, habiéndose registrado dos temporadas húmedas. El cauce se encuentra estable desde la construcción de la rampa de rocas.
- ◆ El método de estabilidad de momentos simplificado y el de Abt y Johnson arrojan resultados similares en el cálculo del enrocado de protección.

Conclusiones (5)

- ◆ El tamaño de rocas de 1.1 m en la rampa aguas arriba y aguas abajo resultó efectivo para el control de erosión como medida temporal.
- ◆ La obra temporal se ha vuelto definitiva. Debido al comportamiento adecuado de la obra temporal, no ha habido mayores
- ◆ Es recomendable analizar el efecto de disipación de energía y aeración del agua que choca con el enrocado. Posiblemente esta estructura permita la salida de gases disueltos mejorando la calidad del agua.

Conclusiones (5)

- ◆ Es probable que el estrechamiento del cauce en la sección del Puente Balta producida por la construcción de la Vía de Evitamiento haya contribuido a que aumente la concentración de flujos y aumento de las velocidades al pie de los pilares del Puente Balta.

Conclusiones (6)

- ◆ Se pudo aprovechar la obra para permitir el medio ambiente con técnicas de suelo bioingeniería. Este tipo de soluciones debe verse como parte integral de la infraestructura y el ornato de una metrópoli.
- ◆ Se recomienda analizar técnicamente cualquier intervención nueva en el río Rímac.

¡Muchas gracias por su
amable atención!

