

Estudio del estado del hormigón en puentes de 50 años en la región subtropical de Bolivia

Ibarra Villanueva. *

*Escuela Militar de ingeniería, Ingeniero Civil, Cochabamba, Bolivia
e-mail: rolando.ibarra1@gmail.com

RESUMEN:

La deterioración del hormigón es un factor común en estructuras que se encuentran en ambientes agresivos y están por encima de su vida útil, como es el caso de los puentes antiguos que, adicionalmente, tienen que soportar cargas superiores de las cuales fueron proyectados. En este sentido, el objetivo del presente artículo consiste en analizar el estado del hormigón en puentes de más de 50 años en la región subtropical de Chapare – Bolivia, caracterizada por una elevada humedad y constantes lluvias durante todo el año.

La metodología del estudio consistió en la evaluación de 6 puentes de esta región mediante inspecciones visuales juntamente con ensayos de campo y laboratorio. Se aplicaron ensayos no destructivos como esclerometría, profundidad de carbonatación, aspersion de nitrato de plata; y ensayos destructivos como la extracción de núcleos.

Los resultados muestran que todos los puentes son afectados negativamente por la humedad que provoca el crecimiento de musgos y vegetación, además facilita la difusión del dióxido de carbono en el hormigón (CO₂) permitiendo el desarrollo de carbonatación en todos los casos, proceso químico que ataca lenta y progresivamente hacia adentro del hormigón hasta llegar al acero causando corrosión. Los resultados del esclerómetro dieron un hormigón de resistencia superficial regular, 200 a 300 kg/cm², lo cual fue ratificado con la extracción de núcleos; no obstante, por las características de estas estructuras, la resistencia debería ser mayor.

El deterioro y envejecimiento del hormigón son características relacionadas a la naturaleza de los materiales; sin embargo, la elevada humedad y la falta de programas de inspección y mantenimiento facilita el desarrollo de ciertas manifestaciones patológicas que comprometen la funcionalidad y seguridad de estas estructuras.

Palabras clave: Manifestaciones patológicas, puentes, inspección.

ABSTRACT:

The deterioration of concrete is a common factor in structures that are in aggressive environments and are above their useful life, as is the case of old bridges that, additionally, have to withstand higher loads from which they were projected. In this sense, the objective of this article is to analyze the state of concrete in bridges over 50 years in the subtropical region of Chapare - Bolivia, characterized by high humidity and constant rains throughout the year.

The methodology of the study consisted of the evaluation of 6 bridges in this region through visual inspections together with field and laboratory tests. Non-destructive tests such as sclerometry, carbonation depth, silver nitrate spray were applied; and destructive tests such as core extraction.

The results show that all bridges are negatively affected by the humidity caused by the growth of mosses and vegetation, also facilitates the diffusion of carbon dioxide in the concrete (CO₂) allowing the development of carbonation in all cases, chemical process that attacks slowly and gradually into the concrete until it reaches the steel causing corrosion. The sclerometer results gave a concrete of regular surface resistance, 200 to 300 kg / cm², which was ratified with the extraction of cores; however, due to the characteristics of these structures, the resistance should be greater.

The deterioration and aging of concrete are characteristics related to the nature of the materials; However, the high humidity and lack of inspection and maintenance programs facilitates the development of certain pathological manifestations that compromise the functionality and safety of these structures.

Keywords: Pathological manifestations, bridges, inspection.

Introducción

Los puentes son estructuras importantes para el desarrollo económico y social de las comunidades y de su entorno, ya que son responsables por la comunicación entre puntos que presentan algún tipo de obstáculo. Sin embargo, estas estructuras son propensas a desenvolver diferentes manifestaciones patológicas, debido a diversos factores: la agresividad del medio ambiente, ataques químicos, intensidad de tráfico mayor que la esperada, mala calidad de los materiales, entre otros; lo que provoca una rápida deterioración de la estructura, comprometiendo su vida útil (Rocha 2018).

La patología es una rama de la ingeniería civil que estudia los síntomas, mecanismos, causas y orígenes de los problemas de las construcciones, permitiendo el diagnóstico de las estructuras. Como gran parte de los problemas en las estructuras presentan manifestaciones o señales externas es posible realizar diagnósticos y pronósticos, estos últimos indican lo que puede pasar si no se toman las medidas preventivas necesarias (Helene 1992). Entre las principales

manifestaciones patológicas encontradas en puentes pueden citarse: corrosión en el acero, fisuras, hongos y eflorescencias (Pintan 2013; Mendes et al. 2010)

Cuando se inspeccionan los puentes, la manera visual es la primera en ser utilizada, pero este método de inspección tiene muchas limitaciones, pues no detecta problemas ocultos y los resultados dependen de la experiencia del inspector (Rehman et al. 2016). En algunos casos son utilizados ensayos destructivos, como la extracción de núcleos, que pueden dar información específica, pero pueden afectar las propiedades de las estructuras (Alfredo-Cruz et al. 2015)

Sin duda los altos costos de reparación y rehabilitación de elementos estructurales de hormigón armado crea la necesidad de que se busquen diferentes ensayos no destructivos (END) para la detección y cuantificación de defectos de una forma más eficiente, realizando un mínimo impacto sobre el tráfico (Rehman et al. 2016). Entre algunos de los ensayos no destructivos citados en la literatura para la inspección de puente son: la evaluación de cloruros libres mediante el método colorímetro de aspersion de nitrato de plata, evaluación de la carbonatación por el método colorímetro de aspersion de fenolftaleína y esclerómetro (Pintan 2013); no obstante, existe una amplia variedad que utilizan diferentes principios físicos (Rehman et al. 2016).

En la región de Chapare-Bolivia, debido a su geografía, alta concentración de ríos, existen muchos puentes, los cuales conectan las diferentes poblaciones dando la oportunidad de crecimiento económico a las comunidades enlazadas. Sin embargo, muchos de estos puentes presentan manifestaciones patológicas evidentes; no existen estudios sobre el estado estructural de estos puentes, que provocan riesgos a la sociedad y gasto económico para el estado. En este sentido el presente artículo tiene por objetivo determinar las principales manifestaciones patológicas en los puentes de la región de Chapare-Bolivia, analizando su estado de deterioración y proponiendo algunas soluciones.

Metodología de investigación

La metodología adoptada consiste inicialmente en una revisión bibliográfica de material referente al tema. Posteriormente se seleccionan puentes en el lugar de estudio, en los cuales se realizarán una inspección preliminar que consiste en un examen visual caracterizando el lugar, el clima a los cuales los puentes están sometidos. En la inspección detallada se realizará una evaluación del estado del hormigón con la ayuda de un levantamiento de las manifestaciones patológicas y la aplicación de ensayos no destructivos como: esclerómetro, profundidad de carbonatación y aspersion de nitrato de plata; y, ensayos destructivos como la extracción de núcleos, para una mejor caracterización del estado del hormigón.

Con el objetivo del presente artículo se analizaron seis puentes de la ruta Cochabamba – Santa Cruz, localizada en la región de Chapare-Bolivia. Al considerar una red fundamental y su importancia de conexión entre 2 ciudades troncales, y que los mismos tienen más de 50 años de uso desde su construcción, que a simple vista se nota el deterioro en el hormigón armado por diversos factores que serán

detallados más adelante. A continuación, se presentan las características más importantes de los puentes estudiados.

- Puente Vinto: Ubicado en la progresiva 80+000 m, con un largo total de 50.00 m. El lecho del río presenta características de montaña con material de arrastre pedregoso y grava.
- Puente Málaga: Ubicado en la progresiva 85+650 m, con un largo total de 64.80 m. El lecho del río presenta características de montaña con material de arrastre pedregoso y grava.
- Puente Ronco: Ubicado en la progresiva 90+950 m consta de un solo tramo de 21.60 m. El lecho del río presenta características de montaña con material de arrastre rocoso.
- Puente Ronquito: Ubicado en la progresiva 91+125 m, consta de un solo tramo de 21.00 m. El lecho del río presenta características de montaña con material de arrastre rocoso.
- Puente Roquemayu: Localizado en la progresiva 98+100 m, consta de un solo tramo de 21.00 m. El lecho del río presenta característica de montaña con material de arrastre rocoso.
- Puente San Jacinto: se encuentra ubicado en la progresiva 99+550 m, consta de tres tramos de 22.70 – 23.00 – 22.70 m, haciendo un largo total de 68.40 m. El lecho del río presenta características de montaña con material de arrastre pedregoso y grava.

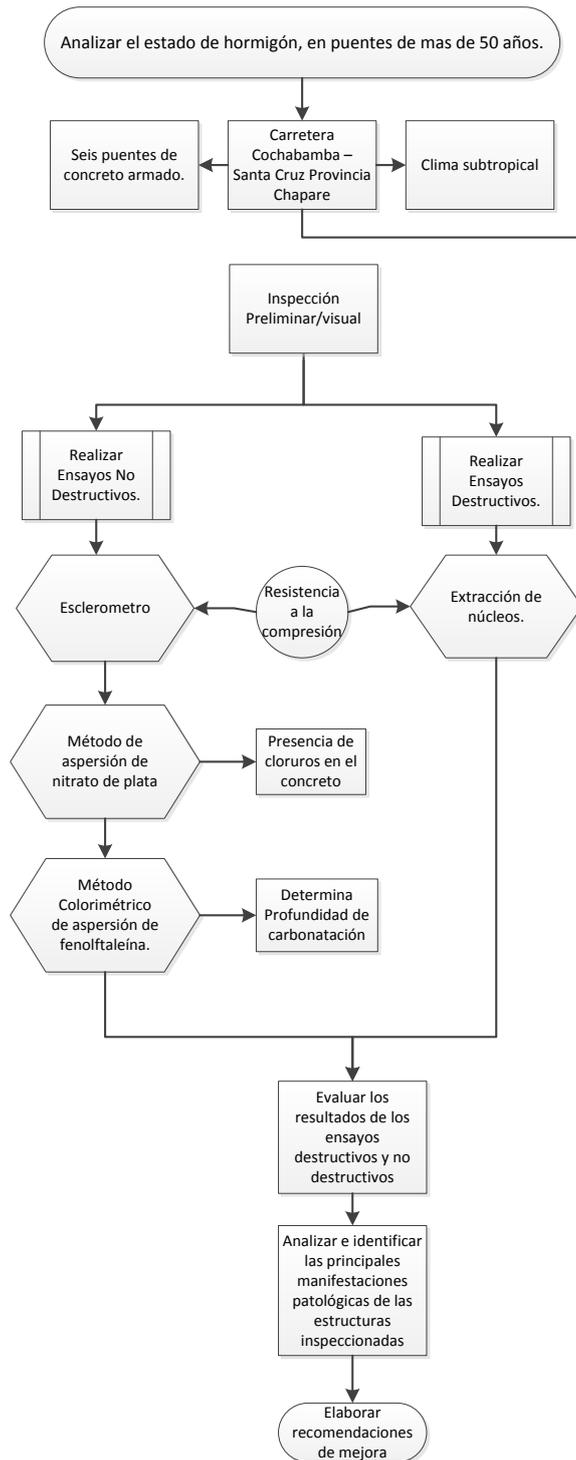


Fig. 1. Resumen de la metodología para la presente investigación.

Metodología de investigación

La zona de estudio, Chapare-Bolivia, se encuentra en una zona Sub Tropical, caracterizada por una elevada humedad relativa del aire y constantes lluvias todo el año, con un precipitación de 3801 mm al año. La temperatura media anual es de 25,2°C (Climate 2918). Las Figuras 2 muestran la localización de la región estudiada y de los puentes inspeccionados.

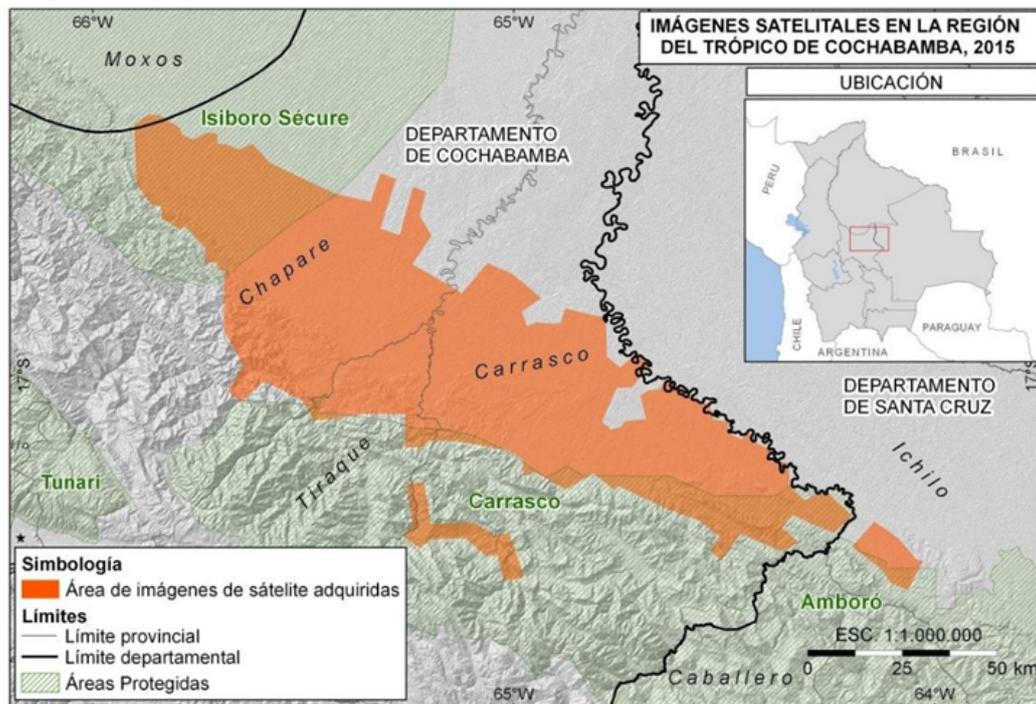


Fig. 2. Localización del área estudiada.

2.1.- Inspección visual y detallada

Para analizar el estado del hormigón se realizó una inspección visual identificando las principales características del lugar: presenta un clima subtropical y con elevada humedad; constantes lluvias durante el año, ambiente de moderada a agresiva, en el hormigón se percibe fisuración, desagregación, manchas de óxidos, y principalmente deterioro por falta de mantenimiento en el tiempo.

En la inspección más detallada, se realizó un levantamiento total de las manifestaciones patológicas, realizando una lista de verificación y fotografías de respaldo, para proceder posteriormente con ensayos no destructivos (aspersión de nitrato de plata, aspersión de fenolftaleína y esclerómetro) y de esta manera corroborar las manifestaciones patológicas encontradas. Se describen los ensayos no destructivos realizados:

Ensayos No Destructivos

Estos ensayos no causan daño estructural significativo al concreto y nos permiten obtener propiedades del concreto, profundidad de carbonatación, cantidad de cloruros y resistencia del concreto. A continuación, se describen los ensayos no destructivos realizados en este artículo:

- Método colorimétrico de aspersion de nitrato de plata: Para la realización del ensayo se consideró la norma italiana UNI 7928 (1978), que estipula una solución de nitrato de plata con una concentración de 0,1 mol/l, es decir 17 g de AgNO₃ a 1 litro de agua destilada. Durante la inspección hubo grietas de pequeñas áreas de la estructura de concreto, donde luego fue esparcida con la solución de nitrato de plata, esta área permaneció en ambiente iluminado para que la reacción fotoquímica entre la solución y la superficie del mortero ocurriera. Después se realizó un registro fotográfico para el análisis visual de la coloración de la superficie.
- Método colorimétrico de aspersion de fenolftaleína: Para la realización del ensayo se consideró la norma RILEM CPC-18 (1988), que estipula una solución de 1 g de fenolftaleína disuelta en 100 g de alcohol etílico del 70%. La solución de fenolftaleína, después de su preparación, se almacenó en un recipiente para su posterior utilización. Durante la inspección se realizaron grietas de pequeñas áreas de la estructura de concreto, en seguida fue esparcida la solución de fenolftaleína, evitando la contaminación de la misma por el CO₂ presente en la atmosfera. Posteriormente se realizó un registro fotográfico para análisis visual de la coloración de la superficie, permitiendo así medir la profundidad de carbonatación.
- Esclerómetro: El martillo de rebote o más conocido como esclerómetro, que nos permite evaluar las propiedades y dureza del concreto. El principio del equipo está basado en que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie sobre la que golpea la masa, la fuerza de compresión que se obtiene golpeando el concreto con una determinada energía, determina la distancia recorrida por la masa, esta acción se representa como porcentaje de la extensión inicial del resorte, al que se denomina como número de rebote del martillo, que corresponde a la dureza del concreto. Posteriormente utilizando tablas de conversión, el número de rebote puede correlacionarse con la resistencia de compresión.



Fig. 3. Ensayo del esclerómetro.2.3.- Ensayos Destructivos

Se clasifica como destructivo, debido a que se extrae una muestra del elemento a analizar, para su ensayo respectivo, el cual tendrá que ser reparada posteriormente. Este procedimiento altera de forma permanente las propiedades mecánicas del elemento, por lo que no poder ser usado masivamente en una evaluación estructural. Para este tipo de ensayo el más reconocido es la extracción d testigos de concreto (diamantinas) y el ensayo a compresión para obtención de la resistencia real del concreto.

- Extracción de núcleos: Se identifica como ensayo destructivo, debido a que se extrae una muestra del elemento a analizar. El método de los núcleos consiste en extraer una muestra cilíndrica del elemento en estudio por medio de un taladro para posteriormente determinar la resistencia a la compresión, la misma, el procedimiento adecuado para realizar en ensayo de resistencia a la compresión aplicando la norma ASTM C-42-2012.

Algunas consideraciones importantes a tomar en cuenta son:

- La longitud ideal de la muestra es entre 1.9 y 2.1 veces el diámetro.
- Núcleos que posean una longitud menor que el diámetro, no deberán ser ensayados.
- La resistencia del concreto se ve afectada por su ubicación en un elemento estructural, teniendo a ser más resistente el concreto de la base que el de la parte superior.



Fig. 4. Ensayo de extracción de núcleos.

Análisis discusión de los resultados

Las principales manifestaciones patológicas encontradas durante las inspecciones fueron: humedad, corrosión y exposición de armaduras, musgos, vegetación, desagregación y fisuras; las cuales se presentaron en diferentes magnitudes para cada puente. Debido a que la zona en estudio presenta constantes precipitaciones pluviales, la humedad fue un factor común en cada puente, lo que provocó el apareamiento de musgos y hongos (Figura 5), acelerando el proceso de deterioración, considerando que la presencia de agua es uno de los principales responsables del apareamiento de manifestaciones patológicas en las estructuras (Jonov et al. 2013)



Fig. 5. Hongos en los puentes: a) San Jacinto, b) Roquemayu y c) Ronco.

La Tabla 1 resume las manifestaciones patológicas encontradas en cada puente, además de los resultados de los diferentes ensayos realizados.

Los resultados de los ensayos no destructivos muestran que no existe la presencia de cloruros libres (aspersión de nitrato de plata). En lo que refiere a la aspersión de fenolftaleína mostro que existe carbonatación en todos los puentes inspeccionados (Figura 6), a lo que se concluye que existe elevada presencia de CO₂ y por ende una corrosión presente en todos los puentes, debido a que la carbonatación en el concreto provoca la pérdida de pH, y el CO₂ atmosférico reacciona con la humedad e ingresa por los fisuras y poros y convierte el hidróxido de calcio a carbonato de calcio, y este proceso va en ascenso por las condiciones presentes en el lugar de estudio, elevada humedad ambiental, que acelera la difusión del CO₂ en el hormigón (Meggi 2012).

El otro ensayo que se realizo es con el esclerómetro y la extracción de núcleos que los resultados nos muestran que el concreto es de calidad regular; pero no superan las expectativas que se preveía que debería ser de buena para arriba. Con excepción del Puente Málaga que el resultado a compresión está por encima de lejos de los demás puentes, esto es debido a varios factores como ser que se extrajo el núcleo donde existía acero en posición favorable a la compresión se podría indagar en muchos otros factores.

Tabla 1. Manifestaciones patológicas en los puentes inspeccionados.

Puente	Humedad		Fisuras		Hongos y Vegetación		Desagregación		Corrosión		Exposición Armaduras	
	Sector	%	Sector	%	Sector	%	Sector	%	Sector	%	Sector	%
Vinto	I/S	100	I/S	40	NP	0						
Málaga	I/S	100	I/S	40	NP	0	S	15	I/S	10	I/S	10
Ronco	I/S	100	S	35	I/S	81	S	20	S	20	S	20
Ronquito	I/S	100	NP	0	I/S	77	NP	0	NP	0	NP	0
Roquemayu	I/S	100	S	50	I/S	83	S	30	S	10	S	10
San Jacinto	I/S	100	I/S	30	I/S	85	S	25	I/S	20	I/S	20

I= Infraestructura / S=Superestructura / NP =No presenta

Tabla 2. Resultados de los ensayos realizados.

Puente	Cloruros libres	Carbonatación	Índice extracción de núcleos	
			Valor	Observación
Vinto	Inexistente	Presente	32,82 MPa	Calidad regular

Málaga	Inexistente	Presente	75,19 MPa	Calidad regular
Ronco	Inexistente	Presente	33,00 MPa	Calidad regular
Ronquito	Inexistente	Presente	29,74 MPa	Calidad buena en algunos tramos
Roquemayu	Inexistente	Presente	35,91 MPa	Calidad regular
San Jacinto	Inexistente	Presente	37,90 MPa	Calidad buena en algunos tramos



Fig. 6. Presencia de carbonatación en los puentes: a) Roquemayu y b) Ronquito

Es necesario la pronta corrección de los diferentes problemas encontrados evitando consecuencias mayores. Para la recuperación de los sectores con corrosión de armaduras pueden ser usados inhibidores de corrosión o protección catódica (Figueiredo and Meira 2013); no obstante, en casos avanzados se debe considerar una intervención mayor a fin de recuperar los elementos estructurales, evitando el riesgo de colapso de las estructuras, principalmente en los puentes con corrosión avanzada.



Fig. 7. Exposición de armadura (Málaga), Corrosión (Vinto)

En todos los puentes se observó que existen casos deficientes en el drenaje por la basura que botan los transeúntes y como también la vegetación, lo que provoca el deterioro de la losa, otra falla es que el hormigón presenta muchas fisuras y grietas lo que con el tiempo estas van agravando la vida útil de los puentes en estudio.

Conclusiones

Las manifestaciones patológicas en las estructuras afectan la funcionalidad y disminuyen su vida útil. Los puentes en estudio no presentaban rutinas de mantenimiento y estaban altamente degradados. La humedad es un factor común encontrado, la misma provoca el apareamiento de diferentes problemas como hongos, vegetación y musgos. Un porcentaje elevado de los puentes presenta corrosión, provocada por carbonatación, mayormente, en estos casos se debe intervenir inmediatamente para evitar consecuencias mayores.

Los resultados deben ser considerados por las instituciones encargadas para proveer programas periódicos de inspección y mantenimiento, de forma que se garantice un desempeño adecuado de estas estructuras, principalmente en estas zonas donde las condiciones ambientales favorecen a una deterioración rápida del concreto.

Referencias Bibliográficas

- Figueiredo, E. and Meira, G. (2013). BOLETIM TÉCNICO 06 – Corrosão das armaduras das estruturas de concreto, ALCONPAT.
- Helene, P. (1992). Manual Prático para Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto. Editora PINI. São Paulo.
- Jonov, C.; Nascimento, N.; Paula e Silva, A. (2013). Avaliação de danos às edificações causados por inundações e obtenção dos custos de recuperação. Ambiente Construído, v. 13, n. 3, p. 75-94.
- Meggi, V. (2012). Efeito da degradação das tintas na proteção do Betão a carbonatação. Tesis de maestría, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Mendes, P.; Moreira, M.; Pimienta, P. (2012). Pontes de concreto armado: efeitos da corrosão e da variação do módulo de elasticidade do concreto. IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 5, n. 3, p. 389-401.
- Pintan, N. (2013). Manifestações patológicas e estudo da corrosão presente em pontes do Recife. Tesis de maestria, Universidade de Pernambuco, Recife.
- Rehman, S.; Ibrahim, Z.; Memon, S.; Jameel, M. (2016). Nondestructive test methods for concrete bridges: A review. Construction and Building Materials, v. 107, n. 15, p. 58-86.
- RILEM Recommendations. (1988). CPC-18. Measurement of hardened concrete carbonation depth.
- Rocha, J. (2018). Avaliação da técnica de termografia infravermelha para a detecção da corrosão em pontes de concreto armado. Tesis de maestría, Universidade de Pernambuco, Recife.
- UNI. (1978). Determination of Chloride Ion Penetration. Italian Standard 7928, Rome.