

New ACI Document on Statistical Techniques for Assessment of Existing Concrete Structures

The guide for those who hated stats class

by Peter Barlow, Nicholas R. Triandafilou, and F. Michael Bartlett

Licensed design professionals working with existing structures are often challenged with developing an appropriate scope of proposed work during an assessment or investigation phase to characterize the as-built and current conditions of a structure. Performance-based standards for assessment, repair, and rehabilitation of existing concrete structures, such as ACI CODE-562-25¹, require methods for representative measurement of such performance. Information on the use of statistical methods for the assessment and repair of existing concrete structures is needed because the conventional, well-known methods used in manufacturing industries for quality assurance are often not practical for single, existing structures.

To address this gap, the ACI Technical Activities Committee (TAC) created ACI Innovation Task Group 11 (ACI ITG-11), Statistical Techniques for Assessment of Existing Concrete Structures, to “provide a uniform methodology, using a statistical basis, for establishing the minimum requirement of a field investigation.”² ACI ITG-11 first met at the ACI Concrete Convention – Fall 2022 in Dallas, TX, USA, and, after TAC review, supplied copyedits for its document, ACI PRC-ITG-11-24: Statistical Techniques for Assessment of Existing Concrete Structures—Report,³ to the ACI production staff on January 5, 2024. As stated in its abstract, the document, published on August 26, 2024:

“demonstrates how statistical techniques can be used in the assessment of concrete structures to evaluate their condition and reliability and to assess the relative merits of possible repair options. A Reliability Toolkit provides licensed design professionals with a summary of some

statistical methods that are useful for structural assessment. The report also gives two detailed examples of assessments for structural concrete repair.”

ACI ITG-11 was mindful of its target audience—experienced design professionals who have probably not applied the principles of probability and statistics since taking a stats course in about the second year of their undergraduate program. Every effort was made to make the guide succinct and focused on practical applications, with detailed examples to clearly illustrate how the necessary computational tools are often readily available spreadsheet functions. The goals of this paper are to increase awareness of these tools and demonstrate how they can be effectively employed during assessment to achieve project objectives successfully.

This paper briefly highlights the key features of the guide. Chapter 1 includes an introduction and describes the scope of the document. Chapter 2 defines the notation and variables used in the equations throughout the report, which engineers not accustomed to working with statistics may find particularly useful. Chapter 3 provides guidance on which parameters should be quantified by testing, and Chapter 4 discusses sample sizes and the statistical analysis of test results. The durability example presented in Chapter 5 uses statistical analysis of cover and carbonation depth measurements to derive probable end-of-service-life limits. The strength example in Chapter 6 illustrates structural assessment using preliminary, detailed, and reliability-based techniques specified in ACI CODE-562. The Reliability Toolkit in Appendix A may become the most frequently used part of this document as users become familiar with reliability-based methods.

Chapter 3—Assessment

Chapter 3 presents the typical steps necessary to plan the testing program. These include identifying the following:

- Testing program objectives;
- Parameters to be evaluated;
- Testing methods to be used;
- Location and number of tests; and
- Statistical implementation of test results.

Items a) to c) are discussed with particular emphasis on determining the geometry of the elements of the structure being assessed and obtaining information about various strength and durability parameters. Items d) and e) relate to the selection and implementation of the statistical techniques. Establishing the location and number of tests and the required statistical analysis of test results to achieve target confidence levels are discussed in Chapter 4.

Chapter 4—Background on Statistical Techniques

The primary objective of this chapter is to provide background on statistical techniques used in the assessment of existing concrete structures. Detailed examples of the application of these techniques are provided in Chapters 5 and 6. More details on these techniques are presented in Appendix A—Reliability Toolkit for Assessment of Existing Concrete Structures.

It is beneficial to define a sampling framework to organize the data gathering and statistical assessment process. The sampling framework should:

- Define the purpose of the sampling (for example, what question(s) is the assessment trying to solve? This is described in Section 3.2);
- Identify critical parameters to be sampled (described in Section 3.3);
- Define the population, potential sources of sampling bias, and the number of samples to be obtained (Section 4.1); and
- Establish how the collected data will be evaluated (Sections 4.2 to 4.5).

It is recommended that procedures to define the population used to quantify statistical parameters be developed on a case-by-case basis considering the following available information:

- Overall construction history—whether the structure was constructed as a single initiative by a single contractor or whether additions have been added by different contractors over the years; and
- Information available in historical construction documents (if they exist)—whether different material grades were specified for different members, such as different grades for the longitudinal and transverse reinforcement, or different specified concrete strengths for footings, columns, and slabs.

The definition of the population also depends on the nature of the problem to be solved:

Table 1:

Required number of samples at 90% confidence level for a given target error and coefficient of variation

Target error	Assumed coefficient of variation				
	10%	15%	20%	30%	40%
±5%	11	24	43	97	173
±10%	3	6	11	24	43

- Is the purpose of the assessment to determine whether a specific defect affects the structural reliability or durability or to determine whether the reliability or durability is affected in the context of a proposed change of occupancy or environmental exposure?;
- Does the preliminary investigation reveal problematic conditions in specific areas that should be considered as distinct populations for the assessment?; and
- Do the environmental exposure conditions or extent of deterioration vary within the structure or between similar structures?

Once the population is defined, recommendations for determining sample sizes based on classical statistical approaches^{4,5} are presented. As shown in Table 1, if the target error is small and the coefficient of variation is large, the required sample size can become impractically large. The licensed design professional and owner should collaborate to determine an appropriate confidence level based on the likelihood and severity of failure and the sensitivity of the measured parameter. This determination is affected by many factors and should be evaluated on a case-by-case basis. The selection of a suitable confidence level based on the severity or consequence of failure, the likelihood of failure, and the sensitivity or importance of the parameter being considered is described.

Chapter 4 then describes statistical methods to characterize data, with particular focus on the normal, logarithmic normal (or lognormal), and extreme value type I (or Gumbel) distributions, which are presented in Fig. 1. Dimensions, concrete strengths, and quantities that can be expressed as the sum of independent random variables are typically normally distributed. Steel yield strengths, quantities that are always positive, and quantities that can be expressed as the product of independent random variables are typically lognormal. The maximum transient loads (for example, live, snow, and wind) that are expected to occur during the lifetime of the structure are typically Gumbel. Techniques are presented to create a “probability paper,” using conventional spreadsheet functions, where cumulative distributions for normal, lognormal, or Gumbel data plot as straight lines.

Techniques are given for comparing data sets to see if they can be combined, bounding sample statistics using confidence intervals, determining fractile values, and characterizing data representing extreme transient loads. Examples illustrate the application of the following widely available spreadsheet functions to facilitate the data analysis: AVERAGE (●),

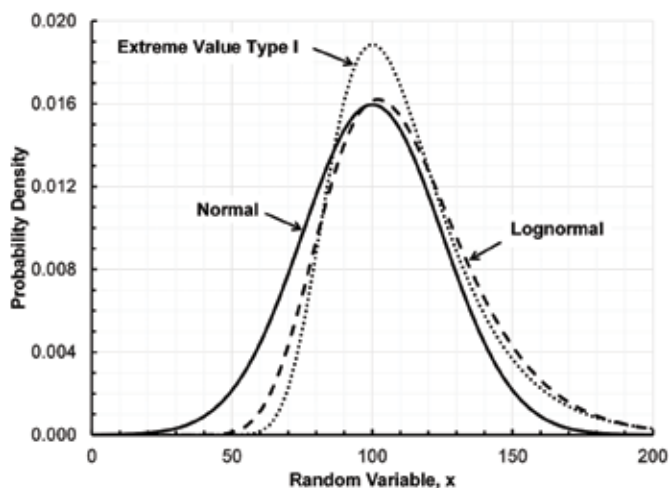


Fig. 1: Probability density functions for normal, lognormal, and extreme value type I distributions (Fig. 4.2 in Reference 3)

STDEV.S (●), NORM.S.INV (●), T.TEST (●), F.TEST (●), T.INV.2T (●), T.INV (●), and CHISQ.INV (●).

Chapter 5—Reliability-Based Durability Assessment Example

The first detailed example in ACI PRC-ITG-11-24 concerns the condition assessment and repair planning for an existing deteriorated tank foundation. As shown in Fig. 2, the exposed surfaces of the concrete mat foundation exhibited varying degrees of cracking and spalling, and the exposed concrete substrate was unsound. In several locations, the loss of concrete section undermined the tank walls, resulting in tank shell wall distortion. The out-of-roundness of the tank walls caused the floating roof system to jam.

In the example, the rationale for the assessment and testing

methodology adopted is described. Data obtained from the condition assessment are analyzed, and it is noted that the foundation is located downwind of equipment that exhausts carbon dioxide (CO_2), which could result in increased carbonation levels on the east side of the foundation compared to the west side. Cover measurements obtained using ground-penetrating radar are analyzed to determine the lower 90% confidence limit on the mean cover, and field-measured carbonation depth data are analyzed to determine the upper 90% confidence limit on the mean carbonation depth. From these parameters, the projected carbonation depths after a target 25-year service-life extension and the associated necessary repairs are determined. It is concluded that significant repairs are necessary on the east side of the foundation only based on analysis for the 90% confidence level. Repairs were not required on the west half of the foundation as the carbonation depth limit was not exceeded for the 25-year service-life extension. This example illustrates the potential cost benefits of conducting more thorough testing and statistical evaluation during the condition assessment phase. By designating two distinct populations based on CO_2 exposure and evaluating each separately, the scope of repair construction was effectively reduced by 50% while maintaining a high confidence level that the 25-year service-life extension objective was met.

Chapter 6—Reliability-Based Strength Assessment Example

In practice, the user of ACI CODE-562-25 would conduct a preliminary assessment that does not require statistically based methods and a detailed assessment that may use statistically based methods to quantify measured parameters before conducting an assessment using the reliability-based mean load method. The strength assessment example follows



Fig. 2: Overall and close-up view of deteriorated storage tank foundation (Fig. 5.1 in Reference 3)

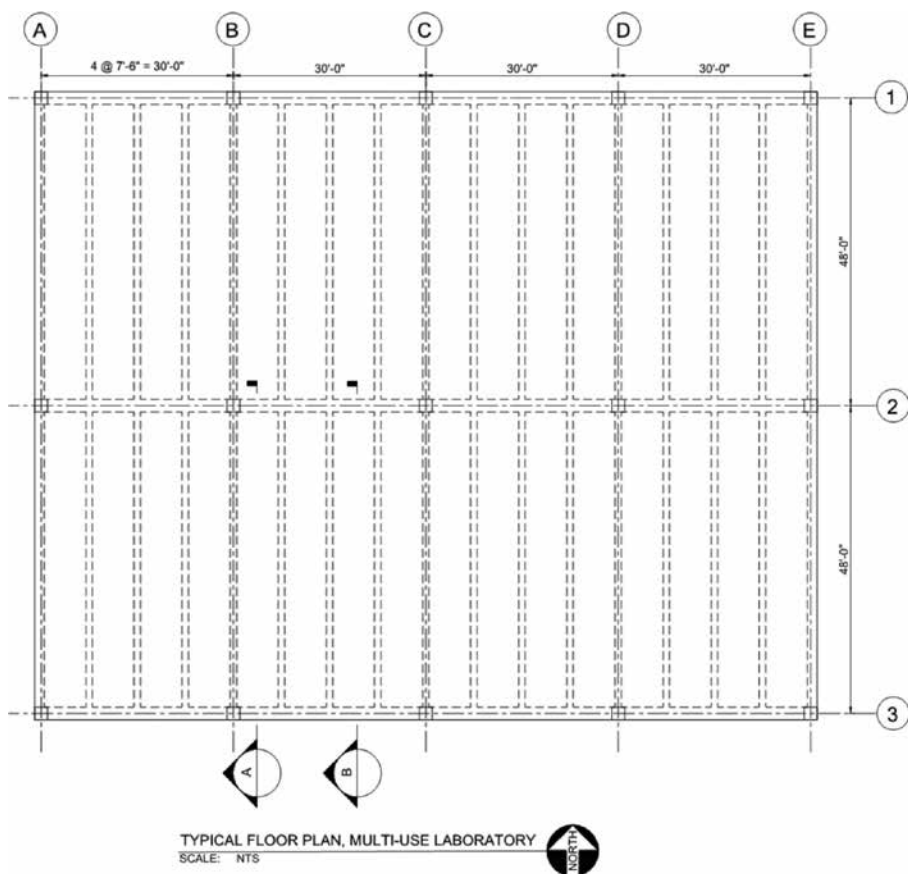


Fig. 3: Typical floor plan, multi-use laboratory (Fig. 6.1a in Reference 3)

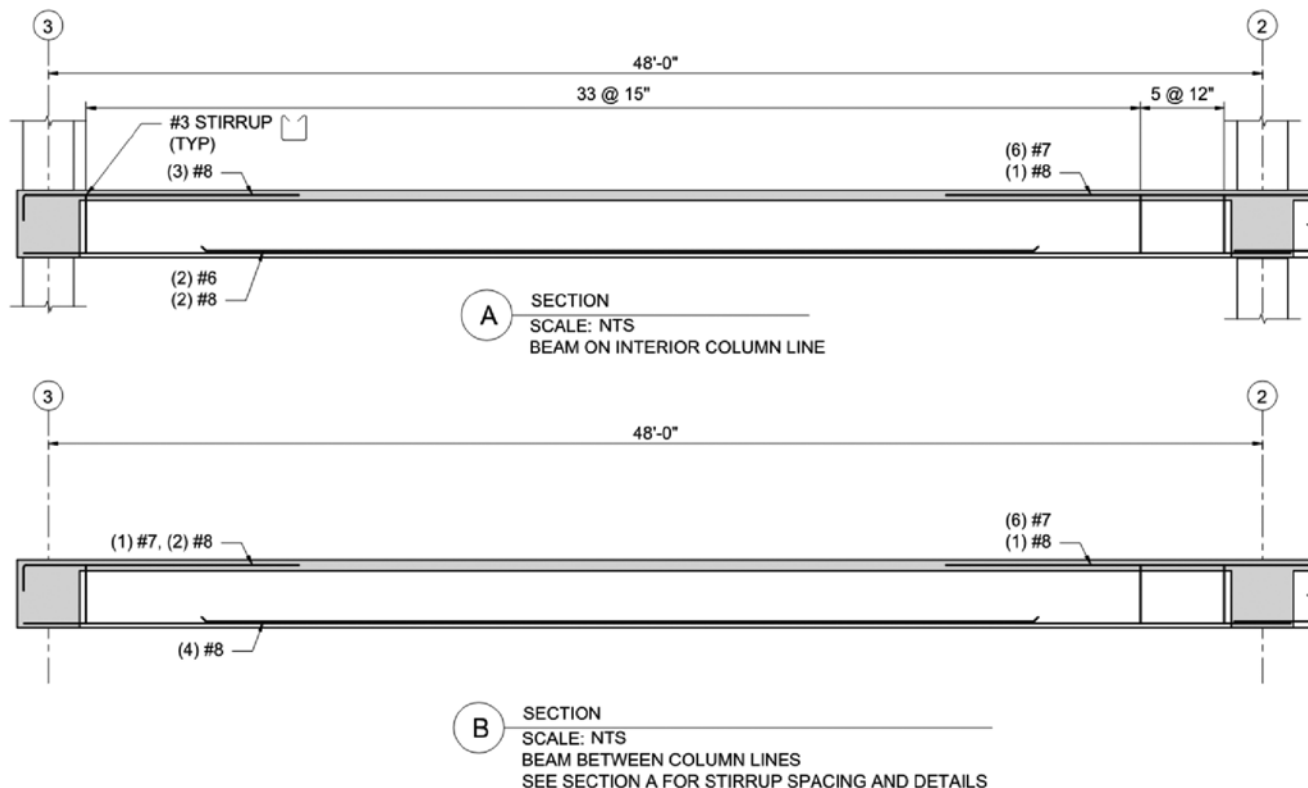


Fig. 4: NS beam longitudinal sections and reinforcement (Fig. 6.1b in Reference 3)

this sequence to contrast these different procedures.

The example is based on a typical floor of a three-story, multiple-use college laboratory constructed in 2004. The north-south (NS) beams, Fig. 3 and 4, were designed for a specified live load, reduced for a tributary area of 80 psf. It is proposed to repurpose the upper story as a cafeteria, with a live load of 100 psf that, as a public assembly occupancy, cannot be reduced for tributary area. This increases the demands due to factored loads by 12.2%.

Table 2 summarizes the results obtained using preliminary, detailed, and reliability-based assessments for various cases representing different availabilities of construction documents and/or testing data. Generally, the computed strength deficiencies for both moment and shear failure modes reduce as more information is available from construction documents and/or field investigations. To illustrate the effect of sample size on the results of the statistical evaluation, two cycles of detailed assessment results are

Table 2:
Strength deficiencies identified using various methods

Section	Method	Deficiency	
		Moment	Shear
6.2	Preliminary assessment	5 to 10%	2 to 12%
6.3	Detailed assessment: Case of good documentation	None	5%
6.4.3	Detailed assessment: Case of no documentation (first cycle)	9 to 13%	9 to 19%
6.4.4	Detailed assessment: Case of no documentation (second cycle)	None	6%
6.5	Strength assessment by mean load method	Up to 6%	Up to 7%

presented: the first cycle includes evaluation of the initial concrete and reinforcing steel material testing, and the second cycle includes additional material tests. In this example, the deficiencies were reduced by the additional testing; however, it should be noted that deficiencies could increase depending on the test results. In addition, the reliability-based strength assessment (for example, the mean load method) produces smaller strength deficiencies than the preliminary strength evaluations, regardless of the availability of construction documents and/or testing data. The mean load method also produces results comparable to those of the detailed strength evaluations. For this example, all of the strength assessment methods yield a consistent conclusion that the strength deficiencies for the shear failure modes are more severe than those for the moment failure modes.

Appendix A—Reliability Toolkit for Assessment of Existing Concrete Structures

The objective of this Appendix is to succinctly describe the application of reliability-based principles and techniques to the assessment of existing structures and illustrate these with practical example calculations. The various sections of the Appendix address:

- The mathematical definition of the reliability index and its application in the mean load method, which can determine the structural safety without requiring factored load combinations or strength reduction factors. This method is especially applicable if the statistical parameters representing the load or resistance of the element being evaluated differ from those typical of new construction, for example, if the load is controlled or the resistance is reduced by deterioration;
- Combining independent random variables, including simple rules for additive and multiplicative combinations of independent random variables. Monte Carlo simulation, which is readily accomplished using typical spreadsheet functions, is briefly described. The Taylor series linearization approach, which requires the computation of partial derivatives, is also described, including a procedure for approximating these using a spreadsheet;
- Extreme value distributions for transient load effects,

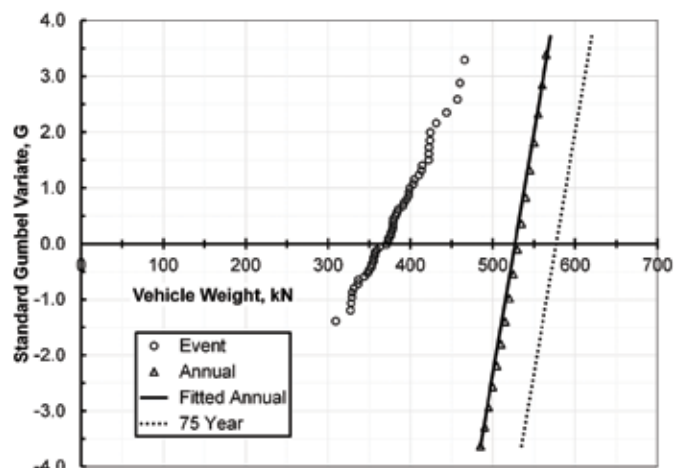


Fig. 5: Event and extreme value distributions plotted on Gumbel probability paper (Fig. A.10.2.2 in Reference 3)

including the derivation of the mean and standard deviation for different return periods using the log-shift principle;

- Bayes’ theorem; and
- Four examples, including an application of the mean load method, determination of the maximum annual and maximum 75-year truck weight distributions from the observed “event” data set (Fig. 5), determination of maximum 50-year wind speed parameters from the maximum daily wind speed data set, and application of Bayes’ theorem.

Next Steps: New ACI Technical Committee

At the ACI Concrete Convention – Fall 2024 in Philadelphia, PA, USA, TAC created a new ACI technical committee, ACI Committee 353, Statistically Based Assessment of Existing Concrete Structures. The new committee will maintain the ACI PRC-ITG-11-24 document and develop additional examples of the application of statistical techniques for the assessment of concrete structures to encourage the increased use of these rational methods in practice.

The draft mission of ACI Committee 353 is “to develop and disseminate best practices for applying statistical and

reliability principles to the evaluation of existing concrete structures.”

The first draft committee goal is “to develop and maintain the ‘Reliability Toolkit’ as a concise, state-of-the-art primer describing the application of statistical and reliability principles to the assessment of existing concrete structures.” This goal recognizes the Reliability Toolkit as a primary contribution of ACI ITG-11, which should be regularly updated to serve as a current succinct primer on reliability and statistical methods.

The second draft committee goal is “to create TechNotes, and Special Publications from technical session presentations, which illustrate the practical application of statistical and reliability methods to the assessment of concrete structures. Where appropriate, it is intended that the new committee engage with other existing ACI Technical Committees in the development of these documents.” This goal recognizes that the creation of two detailed examples that illustrate the application of reliability and statistical principles to realistic assessment problems is another primary contribution of ACI ITG-11. Examples do not need to be reaffirmed every 5 years, in accordance with ACI practices for technical committee documents; they should simply be published to be made available in the literature. Rather than reaffirming existing examples, the committee can develop new examples, expanding the breadth of topics being covered. Special Publications, *Concrete International* articles, and TechNotes are planned vehicles to facilitate this goal.

At least 14 other existing ACI technical committees can potentially collaborate with the new committee to develop new applications. Many of the members of ACI ITG-11, who will continue on the new committee, are already active on these other committees and can facilitate collaboration with the new committee.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the contributions of the following other members of ACI ITG-11, who worked efficiently to develop the new document rapidly: Ali Abu-Yosef, Ziad Elaghoury, Jeremiah Fasl, Kip Gatto, Timothy Gillespie, Lawrence Kahn, Ming Liu, John Lund, Diego Romero, Kyle Stanish, and Jeffrey West. The support from the

ACI Technical Activities Committee, particularly ACI ITG-11 TAC Contact Jason Weiss, is also gratefully acknowledged.

References

1. ACI Committee 562, “Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures—Code and Commentary (ACI CODE-562-25),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 133 pp.
2. ACI Innovation Task Group 11 website, www.concrete.org/committees/directoryofcommittees/acommitteehome.aspx?committee_code=C0009311, accessed Nov. 6, 2024.
3. ACI Innovation Task Group 11, “Statistical Techniques for Assessment of Existing Concrete Structures—Report (ACI PRC-ITG-11-24),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2024, 47 pp.
4. Larsen, R.J., and Marx, M.L., *An Introduction to Mathematical Statistics and Its Applications*, sixth edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2017, 752 pp.
5. ASTM E122-17(2022), “Standard Practice for Calculating Sample Size to Estimate, with Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 5 pp.

Selected for reader interest by the editors.



Peter Barlow, FACI, is a Concrete Repair Consultant with Barlow Consulting in Seattle, WA, USA. He is Chair of ACI Innovation Task Groups 11, Statistical Techniques for Assessment of Existing Concrete Structures (ACI ITG-11), and ACI 12, Code Requirements Construction of Additively Constructed Walls (ACI ITG-12), and a member of the ACI Board of Direction.



Nicholas R. Triandafilou is the Structural Engineering Department Manager for Brindley Engineering Corporation in Lisle, IL, USA. He is Chair of the newly formed ACI Committee 353, Statistically Based Assessment of Existing Concrete Structures, Secretary of ACI ITG-12, Code Requirements Construction of Additively Constructed Walls, and a member of ACI Committee 546, Repair.



F. Michael Bartlett, FACI, is Professor Emeritus of Civil and Environmental Engineering, University of Western Ontario, London, ON, Canada. He is Chair of ACI Committee 562, Evaluation, Repair and Rehabilitation of Concrete Structures, and a member of ACI Committee 120, History of Concrete, and ACI ITG-11, Statistical Techniques for Assessment of Existing Concrete Structures.

Sign up for Concrete SmartBrief

Created by SmartBrief in partnership with ACI, Concrete SmartBrief provides a daily email snapshot of the concrete industry with news from leading global sources. Summaries of what matters to you, written by expert editors, to save you time and keep you informed and prepared.

Welcome to Concrete SmartBrief; sign up at:

www.smartbrief.com/ACI

Nuevo documento del ACI sobre Técnicas Estadísticas para la Evaluación de Estructuras Existentes de Concreto

Una guía para los que odiaban las clases de estadística

Por Peter Barlow, Nicholas R. Triandafilou, y F. Michael Bartlett

Los diseñadores estructurales que trabajan en la evaluación de estructuras existentes se enfrentan, con frecuencia, al reto de definir el alcance adecuado de la propuesta de trabajo para las fases de evaluación y/o investigación, enfocadas en la caracterización de las condiciones actuales y aquellas con las que fueron construidas las estructuras. Las normas para la evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes, basadas en desempeño, como el código ACI-562-25¹, requieren métodos de medición representativos que permitan evaluar dicho desempeño.

Se necesita información sobre el uso de métodos estadísticos para la evaluación y reparación de estructuras de concreto existentes ya que los métodos convencionales, bien conocidos y utilizados en las industrias de manufactura para asegurar la calidad, no siempre son prácticos cuando se aplican a una estructura existente con características individuales.

Para abordar esta carencia, el Comité de Actividades Técnicas (TAC) del ACI creó el Equipo de Trabajo para la Innovación No. 11 del ACI (ACI ITG-11): “Técnicas Estadísticas para la Evaluación de Estructuras Existentes de Concreto”, con el objetivo de “proporcionar una metodología uniforme usando una base estadística para establecer los requisitos mínimos de una investigación de campo”². El ACI ITG-11 se reunió por primera vez en la Convención de Concreto del ACI en el Otoño de 2022 en Dallas, TX, EE.UU., y, después de la revisión del TAC, proporcionó correcciones editoriales para su documento, ACI PRC-ITG-11-24: Técnicas Estadísticas para la Evaluación de Estructuras de Concreto Existentes—Informe³ al equipo de producción del ACI el 5 de enero de 2024. Como se indica en su resumen, el documento publicado el 26 de agosto de 2024, “demuestra cómo las técnicas estadísticas pueden utilizarse en la evaluación de estructuras de concreto para conocer su estado y seguridad y para evaluar las posibles opciones de reparación”. Este juego

de herramientas le proporciona a los profesionales del diseño un inventario de algunos métodos estadísticos útiles a la hora de hacer una evaluación estructural. El informe además proporciona dos ejemplos detallados en los que se llevaron a cabo evaluaciones para la reparación de estructuras de concreto.

El ACI ITG-11 tuvo en cuenta al público al que iba dirigido: profesionales con experiencia en el diseño de estructuras, pero sin conocimientos avanzados en la aplicación de principios de probabilidad y estadística, más allá de aquellos aprendidos durante sus estudios de pregrado. Se hizo todo lo posible para que la guía fuera concisa y se centrada en aplicaciones prácticas, con ejemplos detallados que ilustraran cómo las herramientas computacionales necesarias no van más allá de hojas de cálculo de fácil acceso. Las metas de este documento están centradas en mejorar el conocimiento de estas herramientas y demostrar cómo pueden emplearse eficazmente durante la evaluación y, de esta manera, alcanzar con éxito los objetivos del proyecto.

Este documento destaca brevemente las principales características de la guía. El capítulo 1 incluye una introducción y describe el campo de aplicación del documento. El capítulo 2 define la notación y las variables utilizadas en las ecuaciones del informe, especialmente útiles para los ingenieros no familiarizados con la estadística. El capítulo 3 indica los parámetros a cuantificar mediante ensayos, y el capítulo 4 trata sobre el tamaño del muestreo y el análisis estadístico a realizar con los resultados de los ensayos. El ejemplo de durabilidad presentado en el capítulo 5 utiliza análisis estadísticos sobre las mediciones del espesor del recubrimiento y la profundidad del frente de carbonatación, permitiendo estimar el posible límite de la vida útil. El ejemplo de resistencia del Capítulo 6 ilustra la evaluación estructural mediante el uso de técnicas preliminares, detalladas y basadas en la fiabilidad, que son especificadas en el código ACI-562. El juego de herramientas de fiabilidad del Apéndice A puede convertirse en la parte más utilizada de este documento a medida que los usuarios se familiaricen con los métodos basados en la fiabilidad.

Capítulo 3 – Evaluación

El capítulo 3 presenta los pasos típicos necesarios en la planificación del programa de ensayos. Estos incluyen la identificación de lo siguiente:

- a) Objetivos del programa de ensayos;
- b) Parámetros a evaluar;
- c) Métodos de ensayo a utilizar;

- d) Localización y número de pruebas; y
- e) Análisis estadístico de los resultados.

Los puntos a) a c) se abordan haciendo énfasis en determinar la geometría de los elementos de la estructura evaluada y obtener información sobre diversos parámetros de resistencia y durabilidad. Los puntos d) y e) se refieren a la selección y aplicación de las técnicas estadísticas. Cómo establecer la ubicación y el número de ensayos, así como el análisis estadístico para alcanzar los niveles de confianza previstos, se tratan en el capítulo 4.

Capítulo 4 – Antecedentes de las técnicas estadísticas

El objetivo principal de este capítulo es proporcionar información general sobre las técnicas estadísticas utilizadas en la evaluación de estructuras de concreto existentes. En los capítulos 5 y 6 se proporcionan ejemplos detallados de la aplicación de estas técnicas. En el Apéndice A – Juego de herramientas de fiabilidad para la evaluación de estructuras de concreto existentes se presentan más detalles sobre estas técnicas.

Es conveniente definir un marco de muestreo para organizar la recolección de datos y el proceso de evaluación estadística. El marco de muestreo debería:

- Definir el propósito del muestreo (por ejemplo, ¿qué pregunta(s) intenta resolver la evaluación? Esto se describe en el apartado 3.2);
- Identificar los parámetros críticos que deben muestrearse (descritos en la sección 3.3);
- Definir la población, las posibles fuentes de sesgo y el número de muestras a obtener (apartado 4.1); y
- Establecer cómo se evaluarán los datos recogidos (secciones 4.2 a 4.5).
- Se recomienda que los procedimientos utilizados para definir la población que será utilizada para cuantificar los parámetros estadísticos se desarrollen caso por caso, teniendo en cuenta la siguiente información disponible:
- Historia completa de la construcción: si la estructura corresponde a una construcción única realizada por un único contratista, o si se han ido añadiendo elementos por parte de diferentes contratistas a lo largo de los años.
- Información disponible en los documentos históricos de construcción (si existen): diferentes calidades de material para diferentes elementos, diferentes calidades

en el refuerzo longitudinal y transversal, o diferencias en las especificaciones de la resistencia del concreto en zapatas, columnas y losas.

La definición de la población también depende de la naturaleza del problema que se requiere resolver:

- ¿El objetivo de la evaluación es determinar si, por un lado, un defecto específico afecta la fiabilidad o durabilidad de la estructura o, si, por otro lado, la fiabilidad o durabilidad se ven afectadas en el contexto de un cambio de ocupación o exposición ambiental?
- ¿La investigación preliminar revela condiciones problemáticas en zonas específicas que lleven a considerar diferentes poblaciones a la hora de realizar la evaluación?
- ¿Las condiciones de exposición ambiental o el grado de deterioro varían en la misma estructura o entre estructuras similares?

Tabla 1:
Número requerido de muestras con un nivel de confianza del 90% para un error objetivo y un coeficiente de variación dado

Error objetivo	Resistencia a compresión, psi				
	10%	15%	20%	30%	40%
± 5%	11	24	43	97	173
± 10%	3	6	11	24	43

Una vez definida la población, se presentan recomendaciones para determinar el tamaño de las muestras basadas en enfoques estadísticos clásicos.^{4,5} Como se muestra en la Tabla 1, si el error objetivo es pequeño y el coeficiente de variación es grande, el tamaño de la muestra requerido puede ser poco práctico. El diseñador y el propietario deben colaborar para determinar un nivel de confianza adecuado basado en la probabilidad, la gravedad del fallo y la sensibilidad del parámetro medido. Esta determinación depende de muchos factores y debe evaluarse caso por caso. Se describe la selección de un nivel de confianza adecuado basado en la gravedad o consecuencia del fallo, la probabilidad de fallo y la sensibilidad o importancia del parámetro considerado.

El capítulo 4 describe los métodos estadísticos para caracterizar los datos, con un énfasis particular en las distribuciones normal, logarítmica normal (o lognormal) y de valor extremo tipo I (o Gumbel), que se presentan en la Fig. 1. Las dimensiones, las resistencias del concreto y las cantidades que pueden

expresarse como la suma de variables aleatorias independientes suelen distribuirse normalmente. Los límites elásticos del acero, las cantidades que son siempre positivas y las cantidades que pueden expresarse como el producto de variables aleatorias independientes suelen ser lognormales. Las cargas transitorias máximas que se espera se produzcan durante la vida útil de la estructura (por ejemplo, cargas vivas, de nieve y de viento) suelen ser Gumbel. Las técnicas se presentan para crear un “documento de probabilidad”, utilizando funciones convencionales de hojas de cálculo, en el que las distribuciones acumuladas para datos normales, lognormales o de Gumbel se trazan como líneas rectas.

Se entregan técnicas para comparar conjuntos de datos con el fin de evaluar si es posible combinarlos, delimitar estadísticas de muestras mediante intervalos de confianza, determinar valores fractiles y caracterizar datos que representan cargas transitorias extremas. Los ejemplos ilustran la aplicación de las siguientes funciones ampliamente disponibles en hojas de cálculo para facilitar el análisis de datos: PROMEDIO(AVERAGE) (•), DESVIACIÓN ESTÁNDAR (STDEV.S) (•), DISTRIBUCION NORMAL (NORM.S.INV) (•), PRUEBA T (T.TEST) (•), PRUEBA F (F.TEST) (•), (T.INV.2T) (•), (T.INV) (•), y (CHISQ.INV) (•).

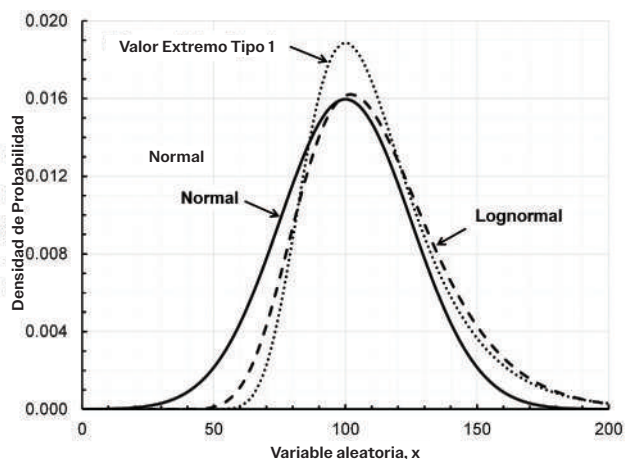


Fig. 1 Funciones de densidad de probabilidad para las distribuciones normal, lognormal y de valor extremo tipo I (Fig. 4.2 en la Referencia 3)



Fig. 2 Vista general y acercamiento de la base deteriorada del tanque de almacenamiento (Fig. 5.1 en la Referencia 3)

Capítulo 5 – Ejemplo de evaluación basado en durabilidad

El primer ejemplo detallado del ACI PRC-ITG-11-24 trata sobre la evaluación del estado y sobre la planeación para la reparación de la cimentación deteriorada de un tanque existente. Como se muestra en la Fig. 2, las superficies expuestas del concreto de la base presentaban diversos grados de agrietamiento y desprendimiento, además de que el sustrato de concreto se encontraba en mal estado. En varios lugares, la exposición y pérdida de concreto debilitó las paredes del tanque, provocando la distorsión de la pared del tanque. La pérdida de la sección circular del tanque provocó el bloqueo del sistema de techo flotante.

El ejemplo describe los fundamentos de la metodología de evaluación y ensayo adoptada. Se analizan los datos obtenidos en la evaluación del estado y se observa que la cimentación se encuentra localizada a sotavento de equipos que emiten dióxido de carbono (CO_2), lo que podría provocar un aumento de los niveles de carbonatación en el lado este de la cimentación en comparación con el lado oeste. Las mediciones del recubrimiento obtenidas con el radar de penetración en el terreno se analizan para determinar el límite inferior de confianza del 90% de recubrimiento medio, y los datos de profundidad del frente de carbonatación medidos sobre el terreno se analizan para determinar el límite superior de confianza del 90% en la profundidad de este frente. A partir de estos parámetros, se proyecta el avance del frente de carbonatación con un objetivo de vida útil extendida en 25 años y las reparaciones necesarias asociadas. Se concluye que solo es necesario llevar a cabo reparaciones significativas en el lado este de la cimentación basándose en el análisis para el nivel de confianza del 90%. Las reparaciones no fueron necesarias en la mitad oeste de la cimentación, ya que no se superó el límite de profundidad de carbonatación para la extensión de la vida útil de 25 años. Este ejemplo ilustra los posibles beneficios en términos de costos al realizar pruebas y evaluaciones

estadísticas más exhaustivas durante la fase de evaluación del estado. Mediante la designación de dos poblaciones distintas en función de la exposición al CO_2 y la evaluación de cada una por separado, el alcance de la construcción de la reparación se redujo efectivamente en un 50%, manteniendo al mismo tiempo un alto nivel de confianza en el cumplimiento del objetivo de ampliación de la vida útil de 25 años.

Capítulo 6 – Ejemplo de evaluación basado en fiabilidad

En la práctica, el usuario del código ACI-562-25, como primera medida, realizaría una evaluación preliminar que no requiere métodos basados en estadística y posteriormente llevaría a cabo una evaluación detallada que podría usar métodos basados en estadística, para cuantificar los parámetros medidos antes de realizar una evaluación utilizando el método de carga media basado en confiabilidad.

El ejemplo de evaluación de resistencia sigue esta secuencia para contrastar estos diferentes procedimientos. El ejemplo se basa en una planta típica de un laboratorio universitario de tres pisos y usos múltiples, construido en 2004. Las vigas nort-sur (NS), Fig. 3 y 4, se diseñaron para una carga viva especificada, reducida para un área aferente, de 3.8 kN/m^2 . Se propone reutilizar el piso superior como cafetería, con una carga viva de 4.8 kN/m^2 que, como carga viva en sala de reunión, no puede reducirse para el área aferente. Esto aumenta las solicitaciones debidas a las cargas factorizadas en un 12.2%.

La Tabla 2 resume los resultados obtenidos utilizando evaluaciones preliminares, detalladas y basadas en la fiabilidad para varios casos representativos de diferentes documentos (disponibles) de construcción y/o datos de ensayos. Generalmente, las deficiencias en el cálculo de la resistencia para ambos modos de falla, por momento y por cortante se reducen a medida que se dispone de más información procedente de los documentos de construcción y/o de las investigaciones de campo.

Para ilustrar el efecto del tamaño de muestreo en los resultados de la evaluación estadística, se presentan dos ciclos de evaluación detallados: el primer ciclo incluye el análisis de los ensayos iniciales al concreto y al acero de refuerzo, mientras que el segundo ciclo incluye la realización de ensayos de materiales, adicionales. En este ejemplo, las deficiencias se redujeron gracias a las pruebas adicionales; no obstante, cabe señalar que las deficiencias podrían aumentar en función de los resultados de los ensayos.

Además, la evaluación de la resistencia basada en la fiabilidad (por ejemplo, el método de la carga media) produce deficiencias de resistencia menores que las evaluaciones preliminares, independientemente de la disponibilidad de documentos de construcción y/o datos de ensayos. El método de la carga media también produce resultados comparables a los de las evaluaciones detalladas de la resistencia. Para este ejemplo, todos los métodos de evaluación de la resistencia dan una conclusión consistente de que las deficiencias de resistencia para los modos de fallo por cortante son más severas que las de los modos de fallo por momento.

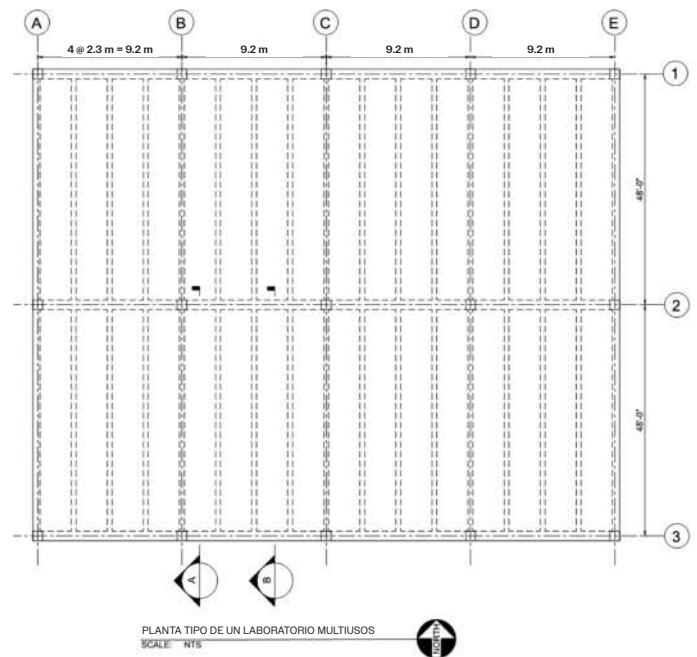


Fig. 3 Planta tipo, laboratorio de usos múltiples (Fig. 6.1a en la Referencia 3)

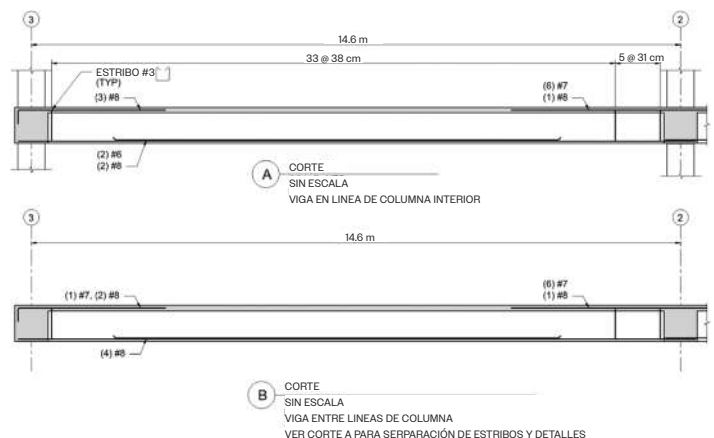


Fig. 4 Secciones longitudinales y refuerzo de la viga NS (Fig. 6.1b en la Referencia 3)

Tabla 2:
Deficiencias de resistencia identificadas mediante varios métodos

Sección	Método	Deficiencia	
		Momento	Cortante
6.2	Evaluación Preliminar	5 al 10 %	2 al 12 %
6.3	Evaluación Detallada: Caso con buena documentación	Ninguno	5%
6.4.3	Evaluación Detallada: Caso sin documentación (Ciclo 1)	9 al 13 %	9 al 19 %
6.4.4	Evaluación Detallada: Caso sin documentación (Ciclo 2)	Ninguno	6%
6.5	Evaluación de resistencia por el método de carga media	Hasta el 6 %	Hasta el 7 %

Apéndice A - Juego de herramientas de fiabilidad para la Evaluación de estructuras de concreto existentes

El objetivo de este apéndice es describir de forma concisa la aplicación de los principios y técnicas basados en fiabilidad a la evaluación de estructuras existentes e ilustrarlos con ejemplos prácticos de cálculo. Las distintas secciones del Apéndice abordan:

- La definición matemática del índice de fiabilidad y su aplicación en el método de la carga media, que puede determinar la seguridad estructural sin requerir combinaciones de carga factorizadas ni coeficientes de reducción de la resistencia. Este método es especialmente aplicable si los parámetros estadísticos que representan la carga o la resistencia del elemento evaluado difieren de los usuales en una construcción nueva, por ejemplo, si la carga está controlada o la resistencia está reducida por deterioro;
- Combinación de variables aleatorias independientes, incluyendo reglas sencillas para combinaciones aditivas y multiplicativas de variables aleatorias independientes. Se describe brevemente la simulación de Monte Carlo, que se realiza fácilmente utilizando las funciones típicas de las hojas de cálculo. También se describe el método de linealización de series de Taylor, que requiere el cálculo de derivadas parciales, incluido un procedimiento para aproximarlas utilizando una hoja de cálculo;
- Distribuciones de valores extremos para efectos de cargas transitorias, incluyendo la derivación de la media y la desviación estándar para diferentes periodos de retorno utilizando el principio de desplazamiento logarítmico;

- Teorema de Bayes; y
- Cuatro ejemplos, que incluyen la aplicación del método de carga media, la estimación de las distribuciones para el peso máximo anual y el máximo de 75 años del camión a partir del conjunto de datos de “eventos” observados (Fig. 5), la determinación de los parámetros de máxima velocidad del viento en 50 años a partir del conjunto de datos de la máxima velocidad del viento diaria, y la aplicación del teorema de Bayes.

Siguientes Pasos:
Nuevo Comité Técnico del ACI

En la Convención del Concreto del ACI de Otoño de 2024 en Filadelfia, PA, EE.UU., el TAC creó un nuevo comité técnico del ACI, el Comité ACI 353, Evaluación de estructuras de concreto existentes basada en estadística. El nuevo comité mantendrá el documento ACI PRC-ITG-11-24 y desarrollará ejemplos adicionales para la aplicación de técnicas estadísticas para la evaluación de estructuras de concreto para fomentar el aumento del uso de estos métodos racionales en la práctica.

El proyecto de misión del Comité 353 del ACI es “desarrollar y difundir las mejores prácticas para aplicar principios estadísticos y de fiabilidad a las estructuras”. El primer proyecto de meta del comité es “desarrollar y mantener el ‘juego de herramientas de confiabilidad’ como un manual conciso y actualizado que describa la aplicación de principios estadísticos y de fiabilidad a la evaluación de estructuras de concreto existentes.” Este objetivo reconoce al “juego de herramientas de confiabilidad” como una contribución primaria de ACI ITG-11, que debería ser actualizada regularmente para servir como un manual conciso y actual sobre métodos estadísticos y de fiabilidad.

El segundo proyecto de meta del comité es “crear Notas Técnicas y Publicaciones Especiales a partir de presentaciones de sesiones técnicas, que ilustren la aplicación práctica de métodos estadísticos y de fiabilidad a la evaluación de estructuras de concreto. Cuando sea apropiado, se pretende que el nuevo comité se comprometa con otros Comités Técnicos existentes del ACI en el desarrollo de estos documentos.” Este objetivo reconoce que la creación de dos ejemplos detallados que ilustren la aplicación de los principios estadísticos y de fiabilidad a problemas de evaluación realistas es otra de las principales contribuciones del ITG-11 del ACI. No es necesario reafirmar los ejemplos cada 5 años, de acuerdo con las prácticas del ACI para los documentos de los comités técnicos; simplemente deben publicarse para que estén disponibles en la bibliografía. En lugar de reafirmar los ejemplos existentes, el comité puede desarrollar nuevos ejemplos, expandiendo la amplitud de los temas tratados. Las publicaciones especiales, los artículos de Concrete International y las Notas Técnicas son vehículos previstos para facilitar este objetivo.

Al menos otros 14 comités técnicos del ACI pueden colaborar con el nuevo comité para desarrollar nuevas aplicaciones. Muchos de los miembros de ACI ITG-11, que continuarán en el nuevo comité, ya participan activamente en estos otros comités y pueden facilitar la colaboración con el nuevo comité.

Agradecimientos

Los autores agradecen sinceramente las contribuciones de los siguientes miembros del ACI ITG-11, quienes trabajaron con eficiencia para desarrollar rápidamente el nuevo documento: Ali Abu-Yosef, Ziad Elaghoury, Jeremiah Fasl, Kip Gatto, Timothy Gillespie, Lawrence Kahn, Ming Liu, John Lund, Diego Romero, Kyle Stanish y Jeffrey West. También se reconoce con gratitud el apoyo del Comité de Actividades Técnicas del ACI, en particular al contacto del ACI ITG-11 TAC: Jason Weiss.

Referencias

1. ACI Committee 562, “Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures—Code and Commentary (ACI CODE-562- 25),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 133 pp.
2. ACI Innovation Task Group 11 website, www.concrete.org/committees/directoryofcommittees/acomitteehome.aspx?committee_code=C0009311, accessed Nov. 6, 2024.

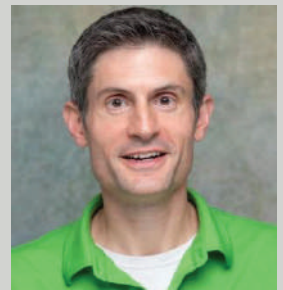
3. ACI Innovation Task Group 11, “Statistical Techniques for Assessment of Existing Concrete Structures—Report (ACI PROITG-11-24),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2024, 47 pp.
4. Larsen, R.J., and Marx, M.L., An Introduction to Mathematical Statistics and Its Applications, sixth edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2017, 752 pp.
5. ASTM E122-17(2022), “Standard Practice for Calculating Sample Size to Estimate, with Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 5 pp.

Seleccionado por los editores por su interés para el lector.

Peter Barlow, FACI, es Consultor en Reparación de Concreto en Barlow Consulting en Seattle, WA, EE. UU. Es presidente de los Grupos de Trabajo de Innovación de ACI 11, Técnicas Estadísticas para la Evaluación de Estructuras de Concreto Existentes (ACI ITG-11), y ACI 12, Requisitos del Código para la Construcción de Muros Construidos mediante Tecnologías Aditivas (ACI ITG-12), y miembro de la Junta de Dirección de ACI.



Nicholas R. Triandafilou es el Gerente del Departamento de Ingeniería Estructural en Brindley Engineering Corporation en Lisle, IL, EE. UU. Es presidente del recién formado Comité 353 de ACI, Evaluación Estadística de Estructuras de Concreto Existentes, Secretario de ACI ITG-12, Requisitos del Código para la Construcción de Muros Construidos mediante Tecnologías Aditivas, y miembro del Comité 546 de ACI, Reparación.



F. Michael Bartlett, FACI, es Profesor Emérito de Ingeniería Civil y Ambiental en la Universidad de Western Ontario, Londres, ON, Canadá. Es presidente del Comité 562 de ACI, Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto, y miembro del Comité 120 de ACI, Historia del Concreto, y ACI ITG-11, Técnicas Estadísticas para la Evaluación de Estructuras de Concreto Existentes.



Título original en inglés:
**New ACI Document on
Statistical Techniques for
Assessment of Existing
Concrete Structures**

**La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo Colombia**



Traductor:
**MSc. Juan Camilo
Reyes Suárez**



Revisor Técnico:
**PhD. Fabián
Augusto Lamus
Báez**