

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

**INSTITUTO DE CONSTRUCCIONES Y
ESTRUCTURAS**

DOCUMENTO NÚMERO 3

**EL USO DE PROGRAMAS INFORMÁTICOS EN LA
ENSEÑANZA Y EN LA PRÁCTICA DE LA INGENIERÍA
ESTRUCTURAL**



MAYO DE 2017

**BUENOS AIRES
REPÚBLICA ARGENTINA**

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

INSTITUTO DE CONSTRUCCIONES Y ESTRUCTURAS

DOCUMENTO NÚMERO 3

EL USO DE PROGRAMAS INFORMÁTICOS EN LA ENSEÑANZA Y EN LA PRÁCTICA DE LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL



MAYO DE 2017

BUENOS AIRES
REPÚBLICA ARGENTINA

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

PRESIDENTE HONORARIO

Ing. ARTURO J. BIGNOLI

MESA DIRECTIVA (2016-2018)

Presidente

Ing. OSCAR A. VARDÉ

Vicepresidente 1°

Ing. LUIS U. JÁUREGUI

Vicepresidente 2°

Ing. ISIDORO MARÍN

Secretario

Ing. RICARDO A. SCHWARZ

Prosecretario

Ing. MAXIMO FIORAVANTI

Tesorero

Ing. GUSTAVO A. DEVOTO

Protesorero

Ing. ALBERTO GIOVAMBATTISTA

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

ACADÉMICOS TITULARES

Dr. José P. Abriata
Ing. Patricia L. Arnera
Ing. Eduardo R. Baglietto
Ing. Conrado E. Bauer
Dr. Ing. Raúl D. Bertero
Ing. Miguel A. Beruto
Ing. Rodolfo E. Biasca
Ing. Arturo J. Bignoli
Ing. Juan S. Carmona
Dr. Ing. Rodolfo F. Danesi
Ing. Luis A. de Vedia
Ing. Tomás A. del Carril
Ing. Gustavo A. Devoto
Ing. Arístides B. Domínguez
Ing. René A. Dubois
Ing. Javier Fazio
Ing. Máximo Fioravanti
Ing. Alberto Giovambattista
Ing. Luis U. Jáuregui
Dr. Ing. Raúl A. Lopardo
Ing. Isidoro Marín
Ing. Augusto C. Noël
Dr. Ing. Ezequiel Pallejá
Ing. Eduardo A. Pedace
Ing. Osvaldo J. Postiglioni
Ing. Antonio A. Quijano
Ing. Ricardo A. Schwarz
Ing. Francisco J. Sierra
Ing. Manuel A. Solanet
Ing. Carlos D. Tramutola
Ing. Oscar A. Vardé
Ing. Oscar U. Vignart
Dra. Ing. Noemí E. Zaritzky

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

INSTITUTO DE CONSTRUCCIONES Y ESTRUCTURAS

Director: Académico Ing. Tomás del Carril

Secretario: Ing. Marcos De Virgiliis

Miembros:

Ing. Raúl D. Benito

Ing. Juan F. Bissio

Ing. Jorge A. Bonifazi

Ing. Roberto Carretero

Ing. Hugo A. Chévez

Ing. Raúl A. Curutchet

Ing. Carlos F. Gerbaudo

Ing. Raúl Husni

Ing. Augusto J. Leoni

Ing. Daniel E. Mesa

Ing. Juan C. Traversaro

Ing. Carlos A. Veleda

Académico Ing. Raúl D. Bertero

Académico Ing. Arturo J. Bignoli

Académico Ing. Aristides B. Domínguez

Académico Ing. Javier Fazio

Académico Ing. Máximo Fioravanti

Académico Ing. Alberto Giovambattista

Académico Ing. Ricardo A. Schwarz

Académico Ing. Oscar A. Vardé

Miembros Colaboradores (Diseño y Construcción de Puentes)

Ing. Roberto Cudmani

Ing. Jorge Fontán Balestra

Ing. Victorio Hernández Balat

Ing. Rogelio Percivati

EL USO DE PROGRAMAS INFORMÁTICOS EN LA ENSEÑANZA Y EN LA PRÁCTICA DE LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	6
2	BENEFICIOS PROVENIENTES DEL USO DE SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.....	6
3	RIESGOS QUE SURGEN DEL USO DE SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.....	8
3.1	Análisis de los Riesgos relacionados con el Software	9
3.2	Análisis de los Riesgos relacionados con los Usuarios	9
4	FORMAS DE MITIGAR LOS RIESGOS – CAPACITACION	10
4.1	Capacitación de los Estudiantes y el Rol de los Docentes.....	11
4.2	Capacitación de los Profesionales en Ejercicio.....	11
5	CONCLUSIONES	12
6	RECOMENDACIONES	12
6.1	Institutos de Enseñanza, Universidades y Organizaciones de Profesionales Especialistas en Ingeniería Estructural.....	12
6.2	Respecto de los Proveedores de Software	13
6.3	Profesionales Estructuralistas y Empresas de Ingeniería Estructural.....	13
6.4	Respecto de los Organismos de Revisión y Control de los Proyectos	14

EL USO DE PROGRAMAS INFORMÁTICOS EN LA ENSEÑANZA Y EN LA PRÁCTICA DE LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL

1. INTRODUCCIÓN

La resolución de problemas de Ingeniería asistida por programas computacionales o informáticos (Software) ha evolucionado en las últimas décadas acompañando el crecimiento exponencial de la informática aplicada a todos los quehaceres del hombre.

El Software especializado aplicado al proyecto y el diseño estructural se ha incorporado a la práctica profesional permitiendo el aprovechamiento de los avances tecnológicos y generando grandes beneficios. Sin embargo, estas nuevas y poderosas herramientas pueden constituirse en fuente de nuevos riesgos para el ejercicio profesional y por ende para la comunidad en su conjunto. De hecho, la correcta resolución de las estructuras tiene impacto directo sobre la seguridad de las personas y la economía de la sociedad.

El presente documento tiene por objeto analizar el estado actual del uso del software especializado tanto en la enseñanza como en la práctica de la Ingeniería Estructural, evaluar los beneficios y los riesgos implícitos, presentar conclusiones a la luz de la experiencia de los integrantes del Instituto de Construcciones y Estructuras de la Academia Nacional de Ingeniería y establecer recomendaciones para difundir los beneficios y mitigar los riesgos, estableciendo las bases para una evolución ordenada y confiable de la Ingeniería Estructural asistida por sistemas computacionales.

2. BENEFICIOS PROVENIENTES DEL USO DE PROGRAMAS INFORMATICOS PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

La incorporación de Software especializado en el diseño y análisis estructural, ha permitido abordaren tiempos reducidos, problemas complejos que anteriormente solo podían resolverse mediante simplificaciones y aproximaciones. Esto ha permitido, cuando se hace un adecuado uso, lograr

mejores soluciones de Ingeniería sustentadas en la precisión, las optimizaciones y el estudio de variantes.

Entre las principales ventajas del uso de Software especializado se pueden señalar:

- Utilizar modelos estructurales 3D, incluyendo comportamiento no lineal de materiales y estructuras e introduciendo como variable el tiempo.
- Visualización e interpretación gráfica de los resultados.
- Incluir procesos de fisuración y de deformación diferida en estructuras de hormigón
- Analizar el comportamiento de estructuras con diferentes esquemas estructurales que permiten simular los diversos comportamientos posibles durante las etapas de construcción y uso.
- Proponer variantes en los modelos de análisis del comportamiento estructural, tarea fundamental en la etapa de diseño para lograr la solución óptima. En algunos casos el software incluye funciones de optimización.
- Facilitar el desarrollo y la revisión de los diseños estructurales.
- Ajustar y optimizar los proyectos simulando distintas configuraciones. Evaluar la sensibilidad respecto de las variables inciertas.
- Facilitar la interrelación con el resto de las especialidades y la actualización de los proyectos.
- Reducir sensiblemente el tiempo de análisis y verificación de problemas estructurales.

Por otra parte, valen las siguientes consideraciones para los sistemas comerciales:

- Los sistemas demandan cada vez, mayor potencia de cómputo y su sofisticación exige la intervención de especialistas y desarrolladores para resolver fallas de funcionamiento o para realizar modificaciones en el código fuente.
- Los sistemas o programas de distribución comercial, son cada vez más amigables en la introducción de datos y en las opciones de post procesamiento de resultados para la obtención de la información que interesa al proyectista.
- Los sistemas comerciales se adecúan rápidamente a los nuevos reglamentos y requerimientos profesionales, incorporando opciones que permiten la adopción de criterios más actualizados.

Los sistemas han alcanzado una gran difusión y los costos de acceso se han reducido significativamente, por lo que con un uso responsable y trabajando en forma competente, los beneficios que se alcanzan son muchos e insoslayables.

3. RIESGOS QUE SURGEN DEL USO DE SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.

El Diseño Estructural es un proceso científico y técnico donde los profesionales aplican sus conocimientos para:

- Definir los criterios, las hipótesis, la tipología y las configuraciones más adecuados.
- Determinar los modelos matemáticos y los métodos de análisis que mejor se ajustan a las condiciones del problema a resolver.
- Establecer las normas técnicas y los reglamentos de aplicación.
- Verificar y validar los resultados obtenidos.
- Materializar en distintos documentos un registro trazable del proceso seguido y de los resultados obtenidos.

El software especializado adecuado a las condiciones técnicas del proyecto estructural que se analiza, es actualmente una herramienta fundamental para llevar adelante el proceso de diseño. Sin embargo, cuando los usuarios no poseen los conocimientos que permitan entender el comportamiento estructural, ni la experiencia y el criterio ingenieril adecuado al problema a resolver, pueden confundir la aplicación de la herramienta con el proceso mismo del análisis estructural, llegando a resultados muchas veces alejados de la realidad. Esto deriva en diseños más costosos o más inseguros de lo que resulta aceptable.

En efecto, muchos sistemas actualmente muy difundidos, son verdaderas “cajas negras”, denominadas así debido a que el operador suministra los datos del problema y recoge los resultados finales sin el seguimiento de los procesos intermedios. Debido a esto, aquellos usuarios que no conocen el fundamento teórico del problema abordado o los límites de aplicación de las hipótesis utilizadas por el sistema o las aproximaciones a los resultados esperables, no están en condiciones de evaluar la validez del diseño alcanzado.

Resumiendo, es necesario destacar dos aspectos que hacen a los riesgos implícitos en el uso de Software para el análisis estructural:

a) Los relacionados con el software utilizado, que debe ser, adecuado al problema a resolver y contar con los controles de calidad previos que lo hagan confiable y

b) Los relacionados con los usuarios que, además de contar con la instrucción apropiada para el uso del software, deben poseer el conocimiento conceptual previo que el software por sí mismo nunca brindará.

Seguidamente se analizan los riesgos relacionados con cada uno de los aspectos mencionados.

3.1. Análisis de los Riesgos relacionados con el Software

Los principales riesgos relacionados con el software especializado para diseño y análisis estructural, que pueden presentarse individualmente o en conjunto, son los siguientes:

- No contar con información clara sobre la teoría que lo sustenta.
- Desconocer las simplificaciones e hipótesis asumidas para su desarrollo, las unidades empleadas, los reglamentos de aplicación, los casos específicos que permite analizar y por ende su campo de aplicación.
- Falta de información sobre las pruebas realizadas para casos específicos de aplicación y la comprobación de los resultados. Los desarrolladores de los sistemas no incluyen información sobre las validaciones y calibraciones realizadas y no presentan certificaciones otorgadas por organismos independientes.
- En algunos sistemas, los datos a ingresar no están definidos de un modo consistente con la teoría de las estructuras, su carga es compleja o inducen a errores de unidades. Todo ello se materializa en resultados de difícil interpretación y poca confiabilidad.
- Hay sistemas que emiten documentación supuestamente constructiva, pero que suele distar mucho de serlo por no corresponder al funcionamiento estructural real, por brindar información confusa o por soslayar reglas constructivas básicas.
- No disponer de manuales de uso claros y completos, ni instructivos, ni ejemplos de aplicación.
- Desconocer a los desarrolladores y su idoneidad.

3.2. Análisis de los Riesgos relacionados con los Usuarios

Una adecuada interpretación de las características del problema estructural a resolver, la selección del software adecuado para tal fin y su correcta utilización, requieren una serie de conocimientos de ingeniería.

Si bien los profesionales reciben durante su formación de grado la capacitación teórica sobredichos temas, solo el ejercicio profesional en la especialidad y la actualización permanente de los conocimientos permitirán mitigar los problemas relacionados con las falencias de los usuarios.

A continuación se enumeran los principales aspectos relacionados con los usuarios de Software Especializado para Diseño y Análisis estructural, que derivan en errores asociados a riesgos inaceptables:

- La facilidad de acceso y el potencial de este tipo de herramientas

informáticas suelen crear una falsa idea sobre las propias capacidades de resolver adecuadamente complejos problemas estructurales.

- Se construyen modelos que no representan adecuadamente la estructura que se proyecta, a menudo se pone énfasis en la semejanza gráfica y no en las características mecánicas que reflejen un comportamiento estructural real.

- No se simulan adecuadamente las condiciones de borde, las restricciones o las liberaciones de movimientos internos y/o las causas deformantes.

- La falta de experiencia o de conocimientos del usuario lo llevan a modelar en forma compleja y con excesivo detalle, estructuras simples y de comportamiento conocido, incrementando la probabilidad de errores en los resultados.

- Se presentan problemas en la definición de las propiedades de los materiales, las características geotécnicas del suelo (capacidad de carga, empujes, módulos de deformación, etc.), las características mecánicas de las secciones, la evolución a lo largo del tiempo de las propiedades mecánicas de los materiales (reología).

- No se interpretan correctamente las propiedades del sistema modelado y se asigna una confianza desmedida a los resultados obtenidos.

- Los usuarios no interpretan o no conocen adecuadamente las hipótesis teóricas que utiliza el software empleado.

- Se utiliza un software que no es aplicable al problema que se trata de resolver.

- El usuario no está capacitado para operar en forma confiable el software, aun cuando éste sea el adecuado.

- Deficiente análisis, utilización y presentación de los resultados. Son frecuentes los errores en la interpretación de las unidades.

- El usuario no realiza verificaciones de consistencia o su falta de conocimientos y experiencia le impide detectar resultados erróneos.

4. FORMAS DE MITIGAR LOS RIESGOS – CAPACITACION

Independientemente de las medidas de mitigación a aplicar respecto de los riesgos relacionados con el software, surge con evidencia que las principales acciones correctivas deben orientarse a la capacitación de los usuarios.

La misma, debe abarcar tanto los temas ingenieriles académicos (matemáticos y técnicos) que permitan una adecuada interpretación de las características del problema estructural a resolver, así como los

conocimientos para la adecuada selección del software y su correcta utilización.

La capacitación de los usuarios debe ser considerada en forma diferente según se trate de futuros profesionales o de profesionales en ejercicio. Seguidamente analizamos cada una de estas situaciones.

4.1. Capacitación de los Estudiantes y el Rol de los Docentes

Dado que en nuestro medio el título de grado habilita automáticamente para el desempeño profesional, el uso de sistemas informáticos para el diseño y análisis de estructuras es una de las competencias básicas a ser desarrolladas en el proceso de enseñanza.

En consecuencia los Institutos y Universidades deben incorporar al contenido de los planes de estudios la transmisión de pautas y criterios para la identificación y el uso adecuado del software especializado. Esta incorporación debe contemplar en general la adquisición de los conocimientos conceptuales propios de la Ingeniería Estructural asignando para ello a los docentes un rol relevante.

Los docentes deben contar, además de los medios físicos necesarios, con una sólida formación académica y pedagógica y con un amplio conocimiento del software disponible en el mercado para el análisis estructural.

Bajo estas condiciones, el docente podrá brindar a los estudiantes una formación sólida sobre los fundamentos y conocimientos conceptuales de la Ingeniería Estructural a la vez que facilitará el acceso a los sistemas de cálculo, que no son otra cosa que herramientas, motivando, orientando, recomendando e instruyendo con el foco puesto en el futuro ejercicio profesional.

Una vez que el estudiante haya adquirido los conocimientos teóricos conceptuales sobre el acceso al hardware y software que usará en su vida profesional, estará en condiciones de avanzar a través del método de estudio de casos con modelos didácticos que le permitirán obtener resultados instructivos y de calidad, permitiendo analizar los efectos de introducir variantes en la estructura y reproducir diferentes escenarios.

4.2 Capacitación de los Profesionales en Ejercicio.

La gran mayoría de los trabajos profesionales se realizan hoy utilizando algún software de cálculo estructural comercial o de desarrollo propio y los reglamentos actuales inducen a utilizar sistemas computacionales en la etapa de diseño, dada la complejidad de sus requerimientos.

Debido a la rápida evolución de los sistemas informáticos, los profesionales en ejercicio deben actualizar permanentemente sus conocimientos y entrenarse en el uso de las nuevas versiones de software, definiendo casos de estudio, probando y verificando con diferentes escenarios con el objeto de familiarizarse y contrastar los resultados.

El proceso de capacitación de los profesionales en ejercicio debe considerarse dividido en etapas en función del grado de experiencia alcanzado. En la etapa inicial el joven profesional requiere guía, instrucción, soporte y seguimiento permanente por parte de un colega experimentado. En la etapa intermedia requiere supervisión puntual en los temas críticos del proceso (planteo del modelo, ingreso de datos, interpretación de resultados, etc.) mientras que en la etapa final el profesional se considera capacitado y debe dedicarse a transmitir su conocimiento y colaborar en la formación de los que están en etapas previas.

5. CONCLUSIONES

Los beneficios que surgen de aplicar software especializado al diseño y análisis de estructuras son evidentes y no se requiere una difusión adicional de los mismos para motivar su utilización. Para los usuarios, se requiere en cambio un esfuerzo de capacitación sobre los fundamentos teóricos de la Ingeniería Estructural y seguidamente la orientación, recomendación y capacitación sobre las más adecuadas y confiables herramientas disponibles y su correcta aplicación para resolver los distintos tipos de problemas que se les presentan.

En consecuencia, resulta imperioso que los Estudiantes, Profesionales, Organizaciones y Docentes tomen conciencia sobre los riesgos que se enfrentan al utilizar inadecuadamente las herramientas de software o también, al utilizar software inapropiado, para el análisis y proyecto de estructuras.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda que los actores involucrados en la problemática que se analiza implementen las siguientes iniciativas:

6.1. Institutos de Enseñanza, Universidades y Organizaciones de Profesionales Especialistas en Ingeniería Estructural.

- Promover la especialización de jóvenes profesionales coordinando la formación entre Institutos, Universidades, Organizaciones Profesionales y Empresas de Ingeniería Estructural.
- Incorporar en el programa curricular de las materias relacionadas con

la Ingeniería Estructural los aspectos relacionados con los principales y más confiables programas de diseño y análisis disponibles en el mercado y el correcto uso de los mismos.

- Alertar sobre los riesgos de utilización inadecuada del software especializado para análisis estructural.
- Desaconsejar el uso de programas de libre acceso y disponibilidad, a menos que se cuente con todos los respaldos necesarios.
- Capacitar a los docentes en los temas relacionados con el software de aplicación y en los métodos de transferencia de dicho conocimiento a los estudiantes.
- Asignar los recursos físicos necesarios (hardware, instalaciones apropiadas, software actualizado, etc.) para que docentes y estudiantes puedan trabajar en forma fructífera.
- Establecer vínculos con los proveedores reconocidos de software para brindar el servicio de certificación de los mismos.
- Promover actividades de capacitación y concientización sobre los riesgos de la mala utilización del software.
- Promover el uso de software certificado.
- Fomentar la incorporación de jóvenes profesionales a las principales empresas de Ingeniería Estructural y ofrecerles un plan de carrera profesional especializada.

6.2. Respetto de los Proveedores de Software

- Certificar sus productos de Software en Institutos de Enseñanza, Universidades u Organizaciones Profesionales.
- Publicar dichas certificaciones en las actividades de difusión que hagan de sus productos.
- Publicar los fundamentos teóricos de los programas que difunden y explicitar sus límites de validez.
- Publicar manuales de uso, instructivos, recomendaciones sobre cómo tratar casos específicos, etc.
- Publicar ejemplos de resolución paso a paso y/o videos de capacitación
- Incorporar cursos de capacitación para los usuarios dictados por ingenieros estructuralistas que tengan conocimientos conceptuales de Ingeniería Estructural además de conocer el uso del programa.

6.3. Profesionales Estructuralistas y Empresas de Ingeniería Estructural

- Incluir en la presentación de los trabajos profesionales una

descripción del software utilizado, su certificación de aplicabilidad al problema tratado, su rango de validez y las verificaciones correspondientes.

- Implementar programas de Jóvenes Profesionales en coordinación con los Institutos de Enseñanza, Universidades y Organismos Profesionales.
- Establecer, en los respectivos equipos de trabajo, un procedimiento de capacitación progresiva y tutoría para garantizar la transmisión de conocimientos a los profesionales menos experimentados.

6.4. Respecto de los Organismos de Revisión y Control de los Proyectos

- Exigir a los profesionales una descripción del software utilizado, su certificación de aplicabilidad al problema tratado y la verificación de estar trabajando en el rango de validez.
- Exigir información completa y clara de ingreso de datos y salida de resultados del software.
- Exigir, cuando corresponda, verificaciones numéricas de los resultados (ecuaciones de equilibrio, compatibilidad de deformaciones, etc.)
- Promover la revisión de proyectos por parte de Profesionales Revisores de comprobada idoneidad.

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA
Av. Presidente Quintana 585 3° A - C1129ABB Buenos Aires - República Argentina
Tel.: (54-11) 4807-1137 - Fax.: (54-11) 4807-0671
E-mail: acading@fibertel.com.ar - acading2@fibertel.com.ar acading.arg@gmail.com
www.acadning.org.ar