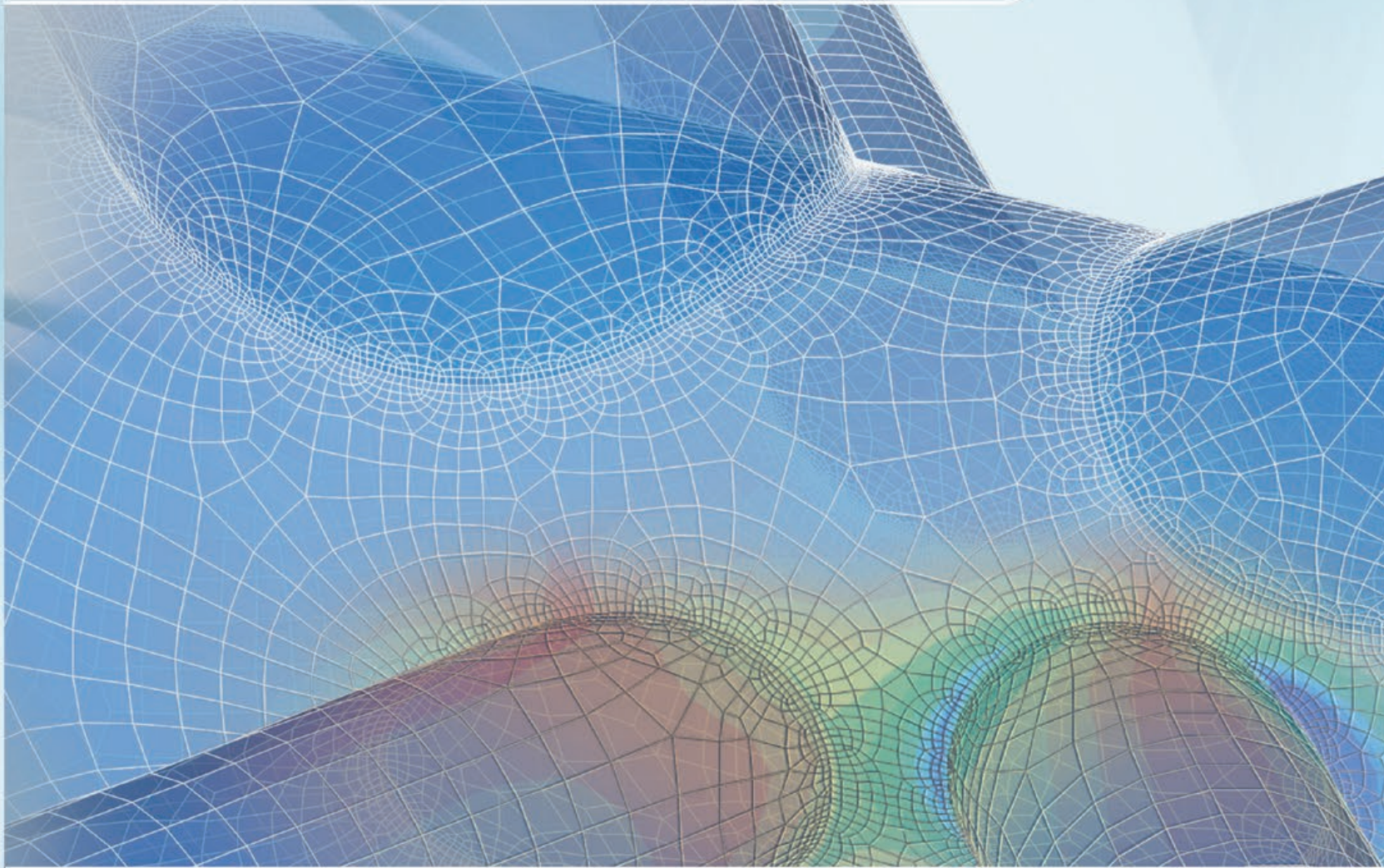


SAP 2000[®]

MODELADO Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS A TRAVÉS DE ELEMENTOS FINITOS



- UNA REFERENCIA INTERNACIONAL EN CÁLCULO POR ELEMENTOS FINITOS
- MEJORAS CONTINUAS A LO LARGO DE 4 DÉCADAS DE DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN
- TRANSPARENCIA Y CONTROL EN LA DEFINICIÓN DE LOS MODELOS Y PROBLEMAS
- EXCELENTE CAPACIDAD DE CÁLCULO Y MODELADO MISMO EN PROBLEMAS MÁS EXIGENTES Y DE MAYOR DIMENSIÓN
- UNA PLATAFORMA PARA ENTENDER Y ENSEÑAR LOS DETALLES DEL MODELADO ESTRUCTURAL Y LOS PROBLEMAS COMPLEJOS DE INGENIERÍA
- TÉCNICAS COMPUTACIONALES DE RESOLUCIÓN DE SISTEMAS DE ECUACIONES E INTERACCIÓN POR SUB ESPACIOS DE 32 Y 34 BITS
- VARIAS NORMATIVAS ESTRUCTURALES Y HERRAMIENTAS DE FÁCIL APLICACIÓN PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y COMPROBACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO, METÁLICAS, DE ALUMINIO Y CONFORMADOS EN FRÍO
- UN PROGRAMA COMPLETO PARA MODELADO, CÁLCULO, COMPROBACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS

INFORMACIÓN GENERAL

MODELADO

- Plantillas para vigas simples, celosías 2D y 3D, pórticos 2D y 3D, silos y embalses, escaleras, presas, tubos, entre otros
- Opciones de visualización del modelo físico y analítico
- Definición de cuadrículas a través de ejes cartesianos o cilíndricos
- Generación automática de plantas y alzados
- Herramientas de edición de la malla (Edge constraints)

COMPONENTES ESTRUCTURALES

- Nudos
- Objetos de barra lineales y no lineales, objetos de cable, objetos de pretensado, objetos de área lineales y no lineales (Layered shell), y sólidos
- Elementos de conexión (Links) lineales y no lineales (Gap, Hook, elementos de fricción, plásticos, amortiguadores y aisladores de base)
- Rótulas plásticas (Hinges)
- Muelles (Springs)
- Comportamiento no lineal de catenaria

ACCIONES

- Acciones automáticas de viento, sismo y cargas móviles
- Acciones de las olas
- Acciones definidas por el usuario (fuerzas, momentos, desplazamientos, temperaturas, tensiones y presiones)
- Cargas puntuales, lineales, trapezoidales y de área
- Coeficientes de presión del viento en estructuras

ANÁLISIS

- Motor de análisis SAP Fire TM (análisis modal Eigen y Ritz y diferentes solvers de 32 y 64 bits)
- Análisis estáticos
- Análisis dinámicos: modal, fuerzas laterales, espectro de respuesta y time history
- Efectos diferidos en el tiempo: secuencia constructiva, fluencia y retracción, densidad espectral de potencia y sollicitaciones armónicas
- No linealidad geométrica: Pandeo, P-Delta (en elementos de barra, shell y sólidos), Large displacements (estructuras esbeltas, membrana,

na, cables, inestabilidad por snap through y comportamiento de pospandeo)

- No linealidad de los materiales: objetos de barras, rótulas plásticas, elementos Link, objetos shell no lineales
- Análisis no lineales: Pushover, Comportamiento fisurado, FNA (Fast Nonlinear Analysis) y Time History a través de integración directa
- Fuerza objetivo (Target force): especificación del esfuerzo axial deseado en la estructura

DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL

- Estructuras de hormigón armado y pretensadas
- Estructuras metálicas
- Estructuras de aluminio
- Estructuras conformadas en frío
- Disponibles varios códigos europeos, americanos, canadienses, turcos, indios, chinos, entre otros

RESULTADOS

- Deformada
- Diagramas de esfuerzos
- Desplazamientos
- Section cuts
- Diagramas de trabajo virtual
- Líneas de influencia
- Gráficos y tablas de resultados
- Animaciones en vídeos

HERRAMIENTAS

- Informes de cálculo
- Optimizador estructural
- Acceso a través de API para creación de pre y posprocesadores

INTEROPERABILIDAD CON OTROS PROGRAMAS Y FORMATOS

- Edición interactiva del modelo a través de Excel y archivos de texto
- Exportación e importación de archivos AutoCAD e IFC, modelos Revit y Tekla
- Exportación de informes de cálculo para Word

FLEXIBILIDAD Y CAPACIDAD DE LOS OBJETOS DE BARRA Y LINKS

- ▶ Objetos de barra rectos, curvos y variables a lo largo de su longitud
 - ▶ Secciones de hormigón armado, aluminio, metálicas y conformadas en frío
 - ▶ Pueden ser definidas por el usuario o importadas a partir de la extensa base de datos del programa
 - ▶ Atribución de valores máximos de tracción y compresión soportados por las barras, permitiendo considerar en el análisis sólo los arriostramientos a la tracción
 - ▶ Atribución de desplazamientos impuestos para simular asentamientos de apoyo o procesos constructivos
- ▶ Los *Links* incluyen elementos de conexión del tipo:
 - lineales, multilineales elásticos y plásticos
 - elementos de contacto y de fricción
 - amortiguadores y aisladores de base
 - ▶ Los *Links* permiten modelar diversas situaciones, como:
 - fricción entre chapas u otros efectos de fricción
 - interacción suelo-estructura a través de curvas P-Y
 - contacto no lineal entre estructura y terreno
 - amortiguamiento viscoso en edificios
 - aparatos de apoyo en puentes
 - modelado de paneles no lineales de mampostería
 - zonas de contacto entre estructuras

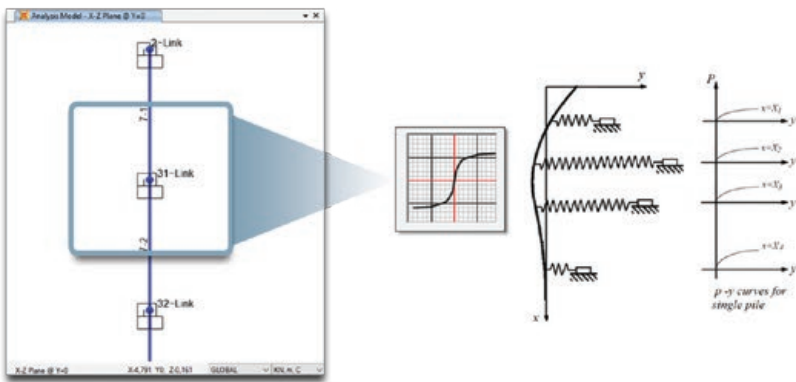


Imagen 1a: Utilización de *links* multilineales plásticos en pilotes

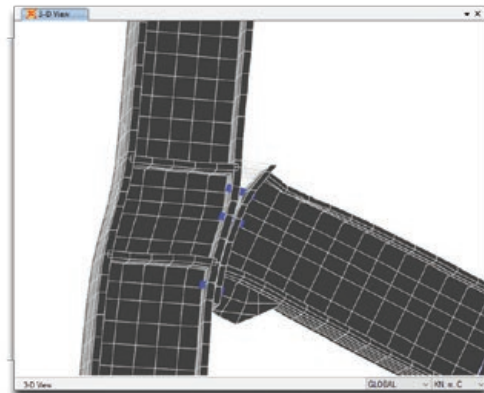


Imagen 1b: Modelado del contacto entre chapas

CONFIGURACIÓN Y GEOMETRÍA DE SECCIONES SIN LÍMITES

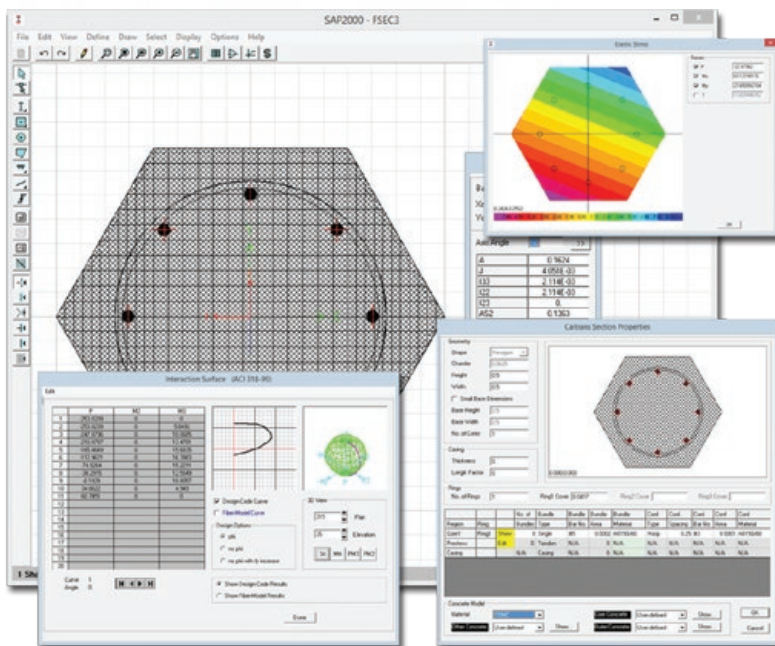


Imagen 2: Section Designer

- ▶ Puede crear secciones genéricas con cualquier tipo de geometría y material:
 - secciones con huecos
 - secciones mixtas acero-hormigón
 - secciones Caltran
- ▶ Permite incluir en las secciones los siguientes elementos:
 - armaduras confinadas y no confinadas
 - pretensado
 - rótulas de fibras
 - secciones metálicas
- ▶ Puede obtener automáticamente:
 - propiedades mecánicas de las secciones
 - superficies de interacción de ELU en 3D
 - diagramas de momento-curvatura
 - tensiones en las secciones

EXCENTRICIDADES Y CONTROL DE CONECTIVIDAD ENTRE NUDOS

- ▶ Capacidad para conectar totalmente, parcialmente, o desconectar nudos que sean geoméricamente coincidentes
- ▶ Capacidad para conectar nudos que estén separados geoméricamente, o que simplemente se encuentren en alineamientos comunes
- ▶ Capacidad para hacer un elemento excéntrico en relación a los nudos donde fue definido geoméricamente, pudiendo así crear relaciones de compatibilidad:
 - interacción axial entre una losa colaborante y viga mixta
 - posicionamiento de pilares en relación a las vigas cuando los centros geoméricos no coinciden

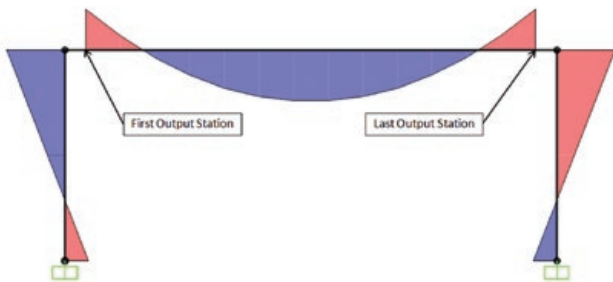


Imagen 3b: Obtención de esfuerzos en vigas considerando la longitud real

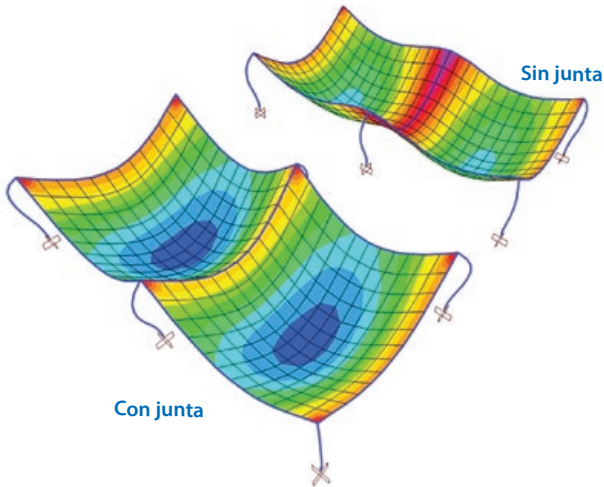


Imagen 3c: Modelado de una junta entre dos paneles de losa

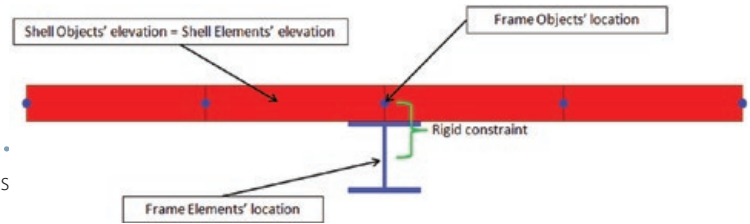


Imagen 3a: Excentricidad entre la losa colaborante y viga metálica

- ▶ Definición de distancias en extremos de barras usadas para ignorar esfuerzos, permitiendo obtener valores en localizaciones específicas, como la cara de un pilar junto a la intersección con la viga, en la verificación y dimensionamiento
- ▶ Permite especificar un valor correspondiente a la fracción de la longitud de la barra a modelar como rígida para deformaciones de flexión y esfuerzo transversal
- ▶ Utilización de constreñimientos para imponer una relación de desplazamientos relativos entre nudos, permitiendo:
 - compatibilizar el extremo de una viga modelada como barra con un conjunto de nudos en una pared modelada con elementos de placa
 - "soldar" zonas de paneles adyacentes, aunque no tengan nudos coincidentes a lo largo de la línea de contacto
 - simular efectos de cuerpos rígidos
 - simular diafragmas en losas, donde todos los desplazamientos horizontales se condensan en dos desplazamientos horizontales y una rotación sobre el eje vertical

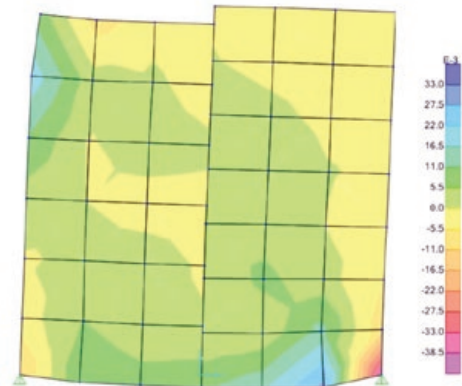


Imagen 3d: Utilización de constreñimientos para "soldar" zonas de paneles adyacentes

DEFINICIÓN DE ESPESORES, PRESIONES Y CARGAS PARAMÉTRICAS VARIABLES

- ▶ La opción Joint Pattern se puede utilizar para:
 - describir variaciones de presiones
 - describir variaciones de temperaturas
 - especificar variaciones de espesores y excentricidad a lo largo de un objeto de área
 - describir distribuciones de valores numéricos espaciales más complicados, como losas de geometrías complejas o cargas con distribución muy variable
- ▶ Permite atribuir únicamente valores positivos o negativos, siendo bastante útil en la definición de presiones hidrostáticas

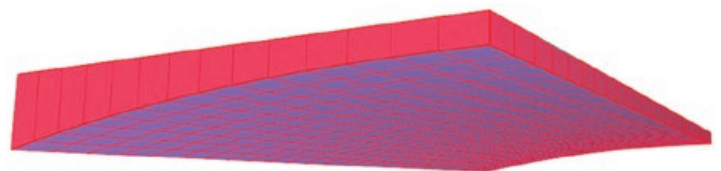


Imagen 4: Modelado de losa con variación de espesor parabólico

FACILIDAD EN LA APLICACIÓN DE CARGAS DE PANELES DISTRIBUIDAS EN BARRAS

- ▶ Aplicación de cargas automáticas en barras conectadas a paneles de área seleccionados
- ▶ Se puede optar por evitar modelar revestimientos y otras estructuras secundarias, pero considerarlos en la forma como las cargas generadas son discretizadas
- ▶ Elabora el cálculo y multiplicación por las anchuras y/o áreas de influencia de las barras y/o nudos incluidos
- ▶ Total control sobre la forma de distribución de las cargas, que puede ser uni o bidireccional
- ▶ Posibilidad de seleccionar los elementos de barra que no deben recibir esfuerzos, por ejemplo los arriostramientos

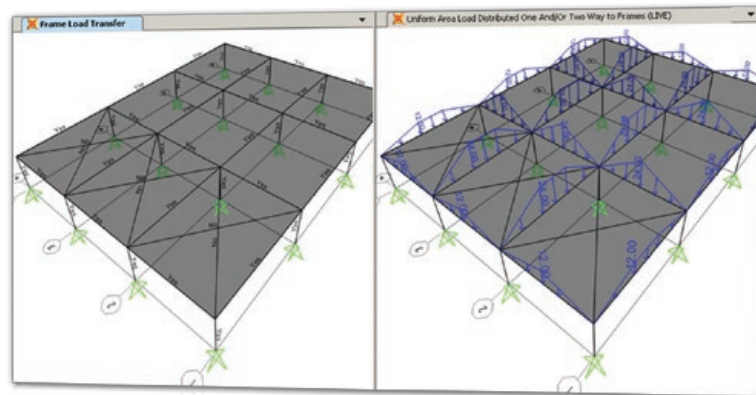


Imagen 5: Cargas trapezoidales generadas en las vigas y sin considerar los arriostramientos cargados

POSIBILIDADES DE MODELADO CON OBJETOS DE ÁREA NO LINEALES POR CAPAS

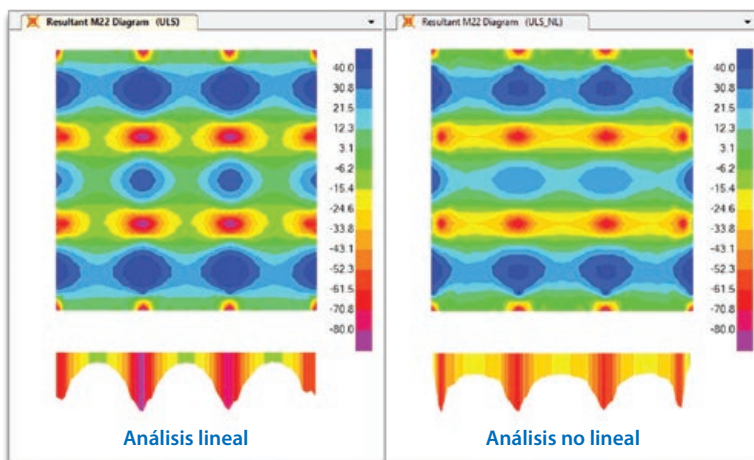


Imagen 6a: Redistribución de esfuerzos en una losa plana en régimen fisurado

- ▶ Gran versatilidad en situaciones de modelado reales:
 - cálculo de redistribución plástica de esfuerzos en las losas en zonas de momentos negativos sobre pilares, a través de la eliminación de los picos obtenidos por análisis lineal
 - atenuación de picos de tensiones estimados elásticamente, en función de la relación constitutiva definida en el material
 - control de tensiones y extensiones en armaduras y zonas de recubrimiento o en cualquier zona del elemento
 - simulación de estructuras metálicas donde el efecto de plastificación y pandeo pueden surgir de forma secuencial o conjunta
 - obtención de curvas de inestabilidad de perfiles metálicos

- ▶ Objetos finitos de área con comportamiento:
 - membrana
 - placa (Kirchhoff o Reissner - Mindlin)
 - shell (Placa + Membrana)
- ▶ Comportamiento no lineal y definición multicapa:
 - acoplamiento entre efectos de membrana y placa desde el punto de vista de la no linealidad geométrica
 - permite definir curvas de tensión-deformación no lineales
 - compatibilidad y equilibrio en grandes desplazamientos
 - definición de materiales no lineales con relaciones constitutivas genéricas
 - varios materiales y espesores de material en las definiciones de capas
 - control de los ángulos locales de los materiales de cada capa en relación a los ejes locales del elemento
 - definición del número de puntos de integración por capa
 - soporta el pasaje de cables de pretensado

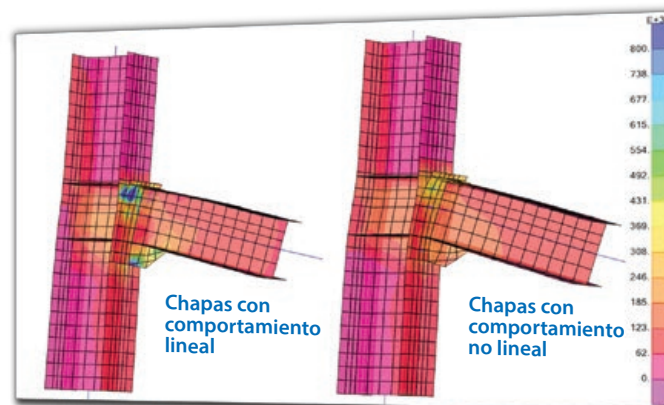


Imagen 6b: Atenuación de picos de tensiones

COMPORTAMIENTO GEOMÉTRICAMENTE NO LINEAL

- ▶ Todos los elementos finitos de SAP2000 soportan efectos de segundo orden, P-Delta y grandes desplazamientos
- ▶ Disponible un método simplificado de inclusión de efectos P-Delta en acciones horizontales, pudiendo con este método procesar el cálculo de forma lineal y consecuentemente agilizar el proceso de estimar efectos de segundo orden para todo tipo de acciones horizontales relevantes
- ▶ Capacidad de calcular efectos de segundo orden en análisis sísmicos a través de espectros de respuesta, dada la capacidad de incluir los efectos P-Delta en las cantidades calculadas para cada modo del análisis modal
- ▶ Capacidad de simular el comportamiento no lineal, desde la primera fase lineal, pasando por la inestabilidad con inclusión de imperfecciones definidas por el usuario, hasta el seguimiento del comportamiento pospandeo, y finalmente el colapso
- ▶ Grandes desplazamientos disponibles para simulación de estructuras muy esbeltas o estructuras que incluyen elementos como cables, cuyo comportamiento es altamente no lineal
- ▶ Capacidad de seguir por incremento de desplazamiento soluciones inestables como snap-through

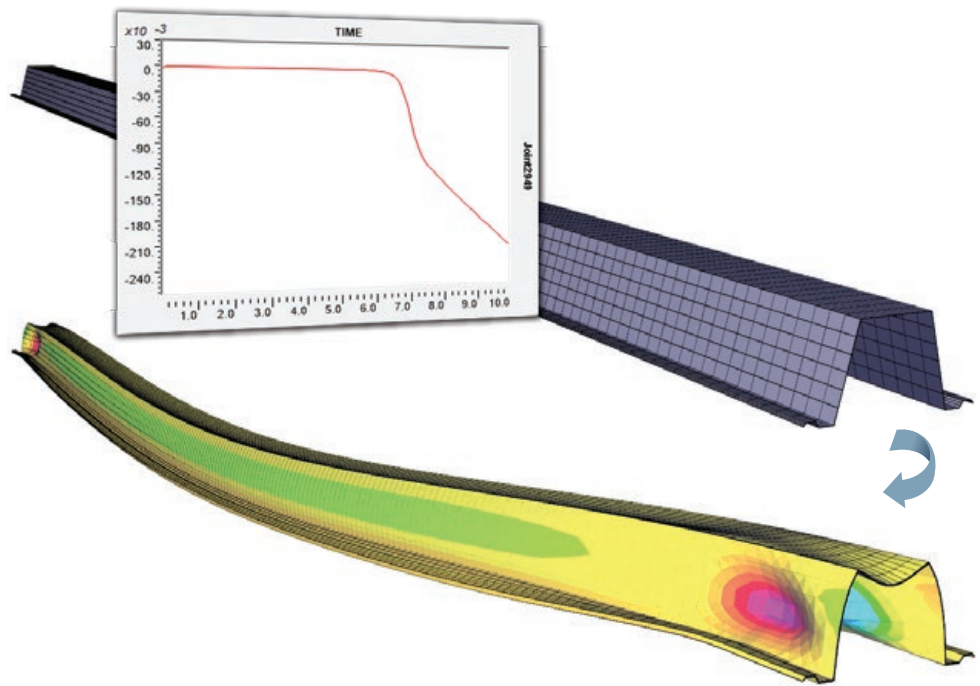


Imagen 7: Análisis de pos pandeo en perfiles de chapa conformada

INTEGRACIÓN AUTOMÁTICA DE ESFUERZOS EN ELEMENTOS FINITOS

- ▶ Los Section Cuts permiten la integración automática y arbitraria de esfuerzos en cualquier parte del modelo estructural
- ▶ Se basa en la contabilización de sumas de esfuerzos nodales de equilibrio de cada elemento finito y no en la integración de tensiones de elementos como las placas y membranas
- ▶ Basta únicamente con considerar un grupo de elementos finitos, los nodos a través de los cuales los esfuerzos se van a medir y la dirección de los ejes de esfuerzos que se pretenden obtener
- ▶ Con esta técnica se pueden obtener:
 - esfuerzos o fuerzas resultantes entre pisos
 - momentos para cálculo de armaduras en losas
 - esfuerzos N, M2 y M3 en secciones de núcleos modelados con shell
 - cortante basal
 - en vigas mixtas, o secciones prefabricadas, el esfuerzo total del conjunto viga + losa
- ▶ Los Section Cuts son evaluados como cantidades modales y por eso los análisis por espectro de respuesta pueden calcular correctamente de forma estadística la magnitud máxima de cada esfuerzo, ya que no es necesario combinar o integrar los esfuerzos nodales después de calculados los resultados modales

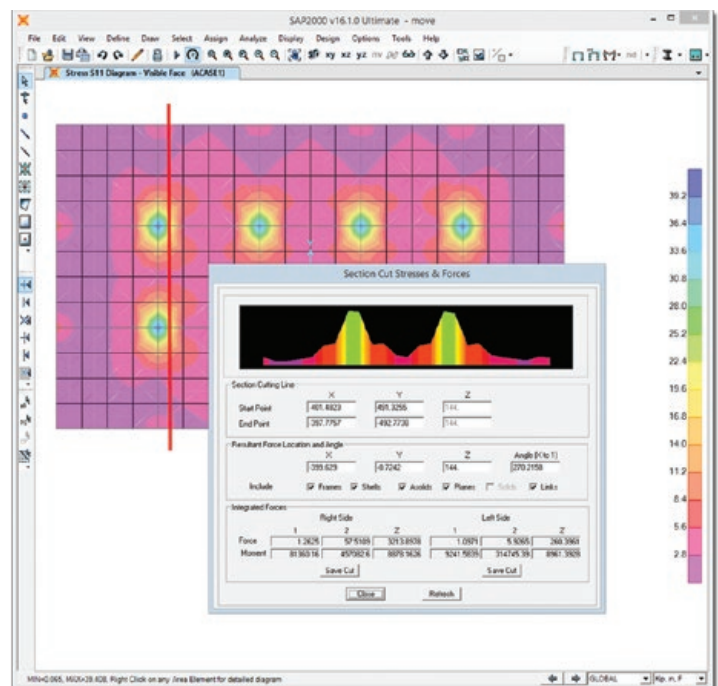


Imagen 8: Visualización de un Section Cut en losa de hormigón

ANÁLISIS PUSHOVER Y RÓTULAS PLÁSTICAS

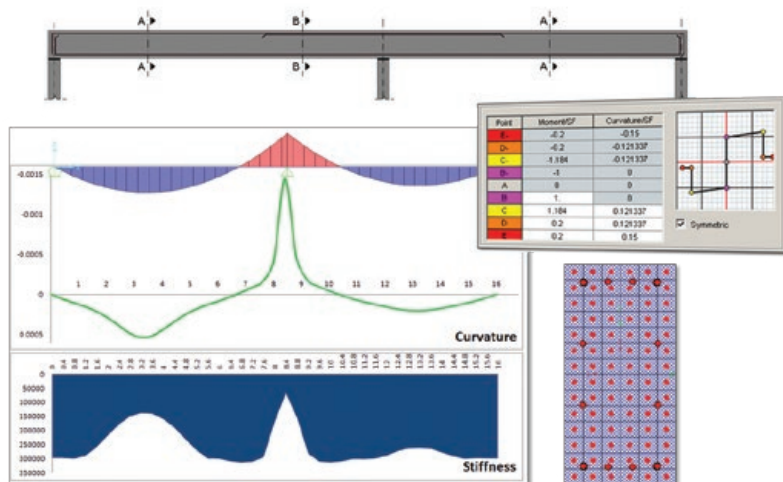


Imagen 9a: Discretización de la sección en fibras y variación de la rigidez y curvatura de la viga

- ▶ Elementos de barra se pueden caracterizar con varios tipos de rótulas plásticas a lo largo de su extensión
- ▶ Las rótulas plásticas pueden ser de cualquier tipo, habiendo herramientas auxiliares para calcular rótulas plásticas por fibras de forma automática para secciones metálicas y de hormigón armado, usando las relaciones constitutivas no lineales de los materiales
- ▶ Además de rótulas por fibras, se pueden definir otros tipos de rótulas donde las leyes Fuerza-[Rotación o Desplazamiento] o Fuerza-[Curvatura o Deformación] son definidas por el usuario

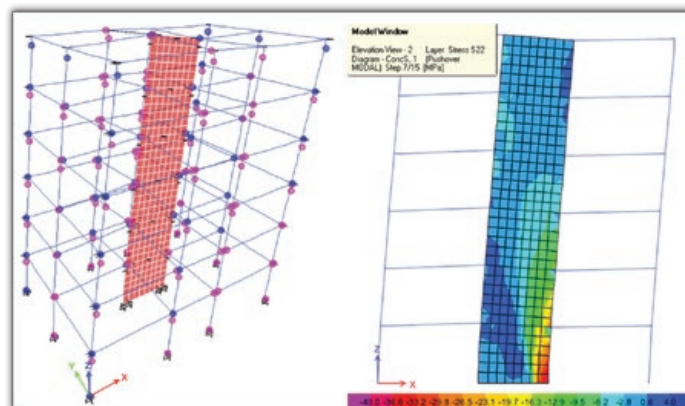
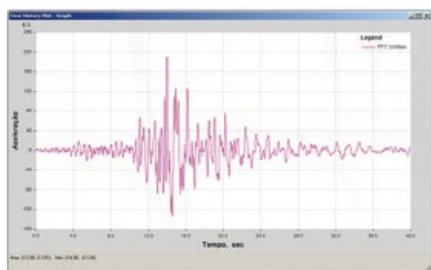
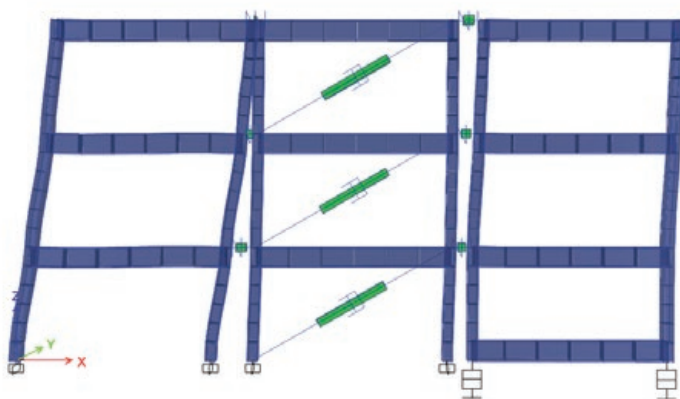


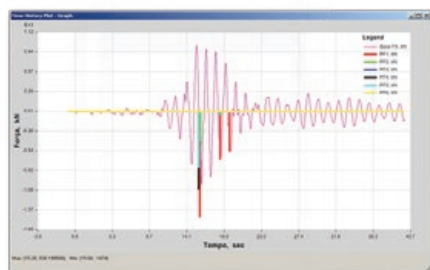
Imagen 9b: Visualización de los "puntos débiles" de la estructura en un análisis Pushover

- ▶ Las rótulas plásticas, aunque sean definidas por el usuario permiten interacción entre 3 grandezas, como N, M2 y M3
- ▶ El análisis Pushover puede ejecutarse fácilmente en SAP2000 a través de análisis no lineales, con identificación de las diversas fases de disipación en cada rótula
- ▶ Implementación de la FEMA356

EXCELENCIA EN ANÁLISIS DINÁMICOS



Fuerzas de impacto y cortante basal



Generación de funciones Time History

Imagen 10: Aplicación del método modal no lineal en pórtico con amortiguadores

- ▶ Modos de vibración:
 - valores y vectores propios
 - vectores de Ritz
 - cálculo iterativo, robusto y rápido
- ▶ Espectros de respuesta:
 - bastante configurable
 - se puede calcular como una combinación de respuesta periódica y rígida, como necesario en algunos tipos de estructuras, como centrales nucleares, por ejemplo
 - desdoblamiento automático de los esfuerzos resultantes cuando están incluidos en combinaciones
- ▶ Análisis en el tiempo:
 - por superposición modal, pudiendo usar el método FNA (Fast Nonlinear Analysis) para considerar no linealidades localizadas y mantener la rapidez del análisis cuando es comparada con integración directa
 - por integración directa con todas las capacidades no lineales disponibles
 - posibilidad de importar casos de secuencias estáticas definidos en SAP2000 y transformarlos en análisis en el tiempo, en situaciones bastante útiles como por ejemplo, la interacción dinámica de vehículos y efectos dinámicos de ondas

FLEXIBILIDAD DEL MOTOR DE CÁLCULO

- Posibilidad recursiva de iniciar análisis lineales o no lineales a partir de estados de análisis no lineales anteriores:
 - en la simulación de cargas tras análisis de definición de estado inicial en estructuras con cables
 - permitiendo simplificar los análisis P-Delta para muchos tipos de acciones horizontales
- Convergencia de análisis no lineales configurables a través de tolerancias y límites de ciclos
- Utilización de las tecnologías más avanzadas de INTEL para cálculo de matrices y operaciones vectoriales
- Solvers bastante rápidos y eficientes

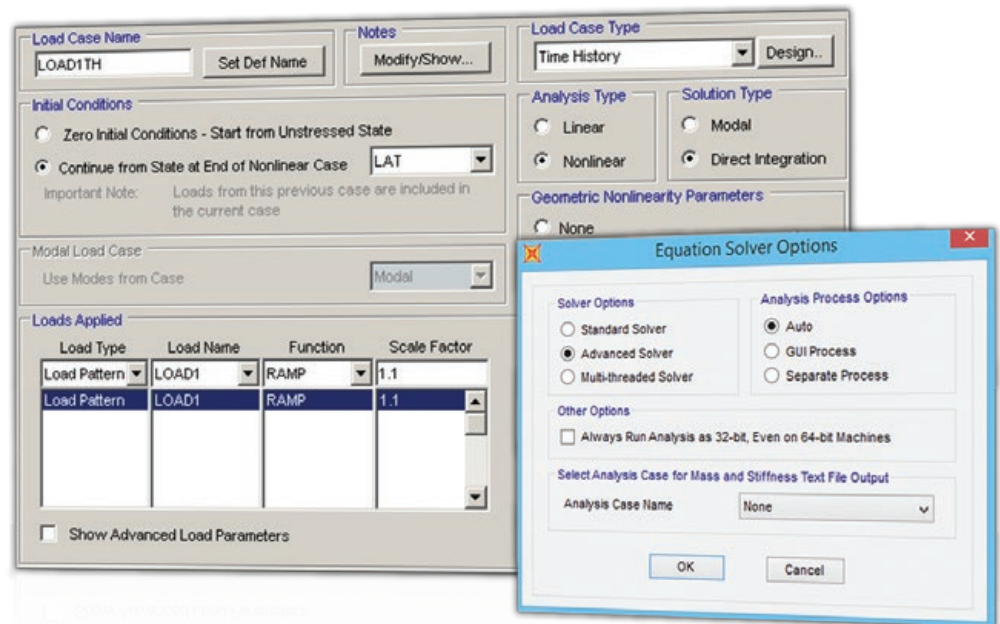


Imagen 11: Encadenamiento de análisis no lineales (izq.) y opciones para solvers y procesos de análisis (der.)

SECUENCIA CONSTRUCTIVA Y EFECTOS DIFERIDOS EN EL TIEMPO

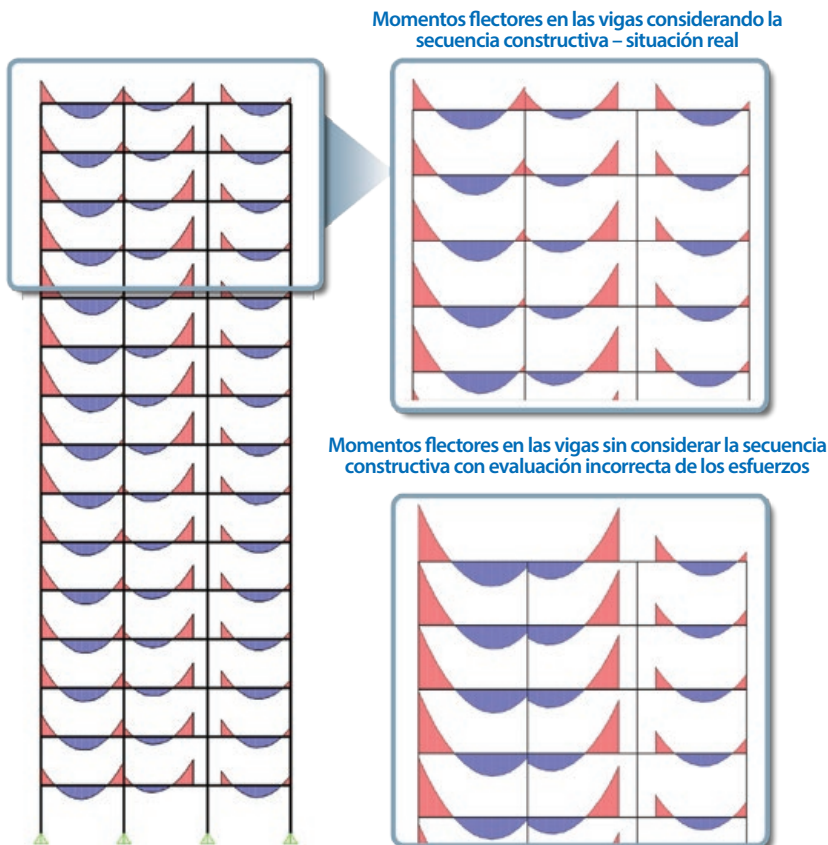


Imagen 12: Efectos de la secuencia constructiva en edificios altos

- Definición de fases con duración explícita
- Consideración o no de efectos reológicos:
 - retracción del hormigón
 - fluencia del hormigón
 - relajación del acero de pretensado
 - diagramas de comportamientos reológicos definidos manualmente o según las normativas CEB-FIP 2010 y ACI 209R-92
- Posibilidad de:
 - añadir estructuras
 - remover estructuras
 - cargar estructuras
 - remover cargas a estructuras
 - alterar secciones
 - alterar condiciones de apoyo
- Pérdidas de pretensado pueden ser eficientemente estimadas, en particular:
 - acortamiento instantáneo del hormigón
 - fluencia y retracción del hormigón
 - relajación del acero de pretensado
- Interfaz intuitiva para visualizar la secuencia de las fases
- Inclusión de todos los comportamientos no lineales disponibles en SAP2000 en el análisis

SIMPLICIDAD EN LA SIMULACIÓN DE PRETENSADO

- ▶ Aplicación de los cables de pretensado en objetos de barra, área y sólidos
- ▶ Obtención inmediata del componente hiperestático en la estructura
- ▶ Puede ser modelado como acción o como elemento durante la secuencia constructiva
- ▶ Geometrías tipificadas y fácil configuración de los cables
- ▶ Pérdidas instantáneas automáticamente calculadas o definidas por el usuario

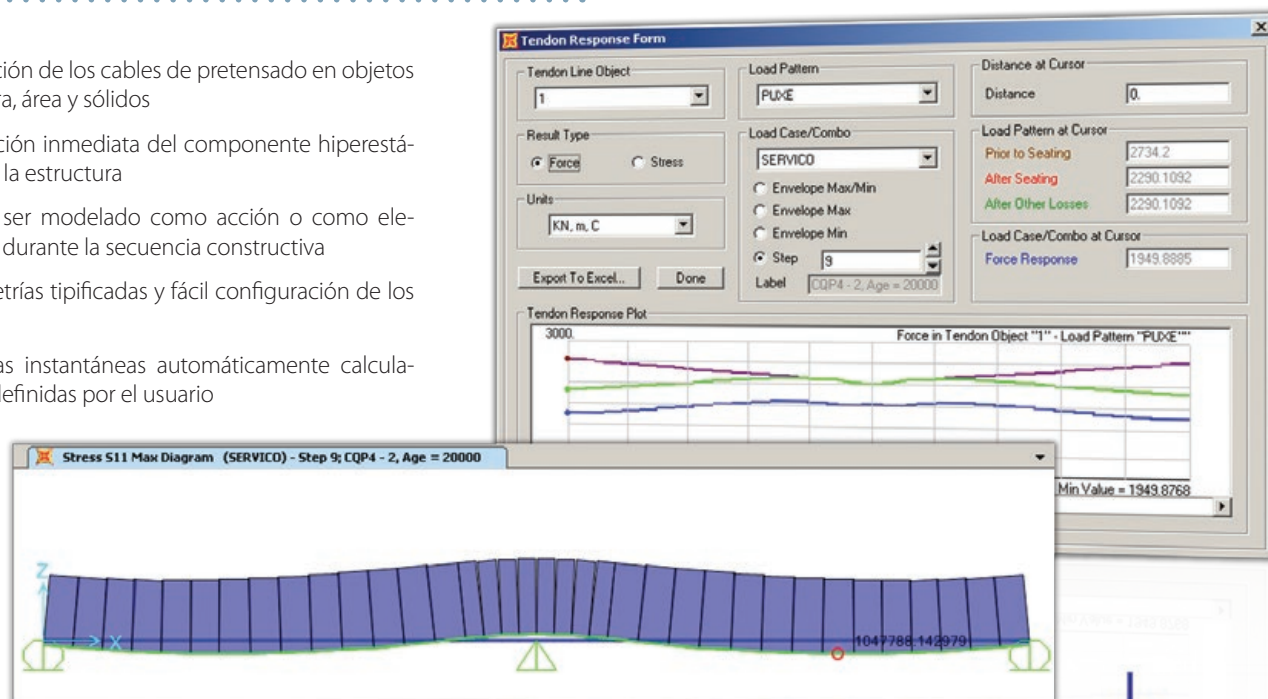


Imagen 13: Visualización de las tensiones y pérdidas en los cables de pretensado

OPTIMIZADOR ESTRUCTURAL

- ▶ Determinación automática de las mejores acciones para diversos tipos de situaciones de optimización
- ▶ Las variables son generalmente acciones disponibles en el análisis en cuestión
- ▶ Las restricciones pueden ser impuestas, como por ejemplo:
 - límites de desplazamientos
 - fuerzas máximas y mínimas
- ▶ Número de variables y de restricciones no necesitan tener correspondencia
- ▶ Aplicaciones en varias áreas, como por ejemplo en la definición de configuración de cables iniciales para un puente atirantado, cuando se imponen condiciones de deformación a corto y largo plazo al tablero

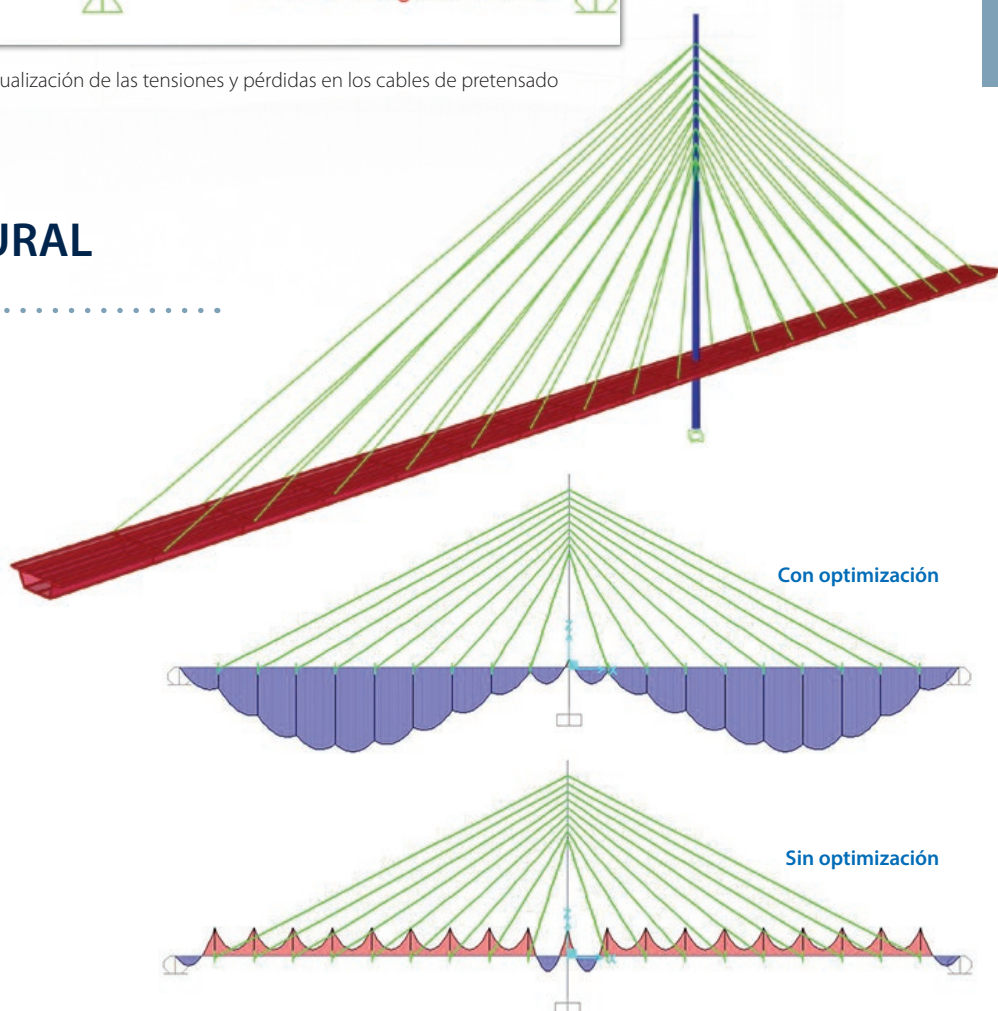


Imagen 14: Optimización de momentos flectores en el tablero de un puente

DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS Y NORMATIVAS INTERNACIONALES

- ▶ Dimensionamiento automático de:
 - estructuras de hormigón armado
 - estructuras metálicas
 - estructuras de aluminio
 - conformados en frío
- ▶ Amplia elección de códigos estructurales europeos e internacionales
- ▶ Procesos de dimensionamiento a través del EC8 permiten la definición de clases de ductilidad DCL, DCM y DCH
- ▶ Consideración de reglas de Capacity Design en las verificaciones sísmicas
- ▶ Predimensionamiento de secciones metálicas con base en criterios de resistencia o deformación global de la estructura

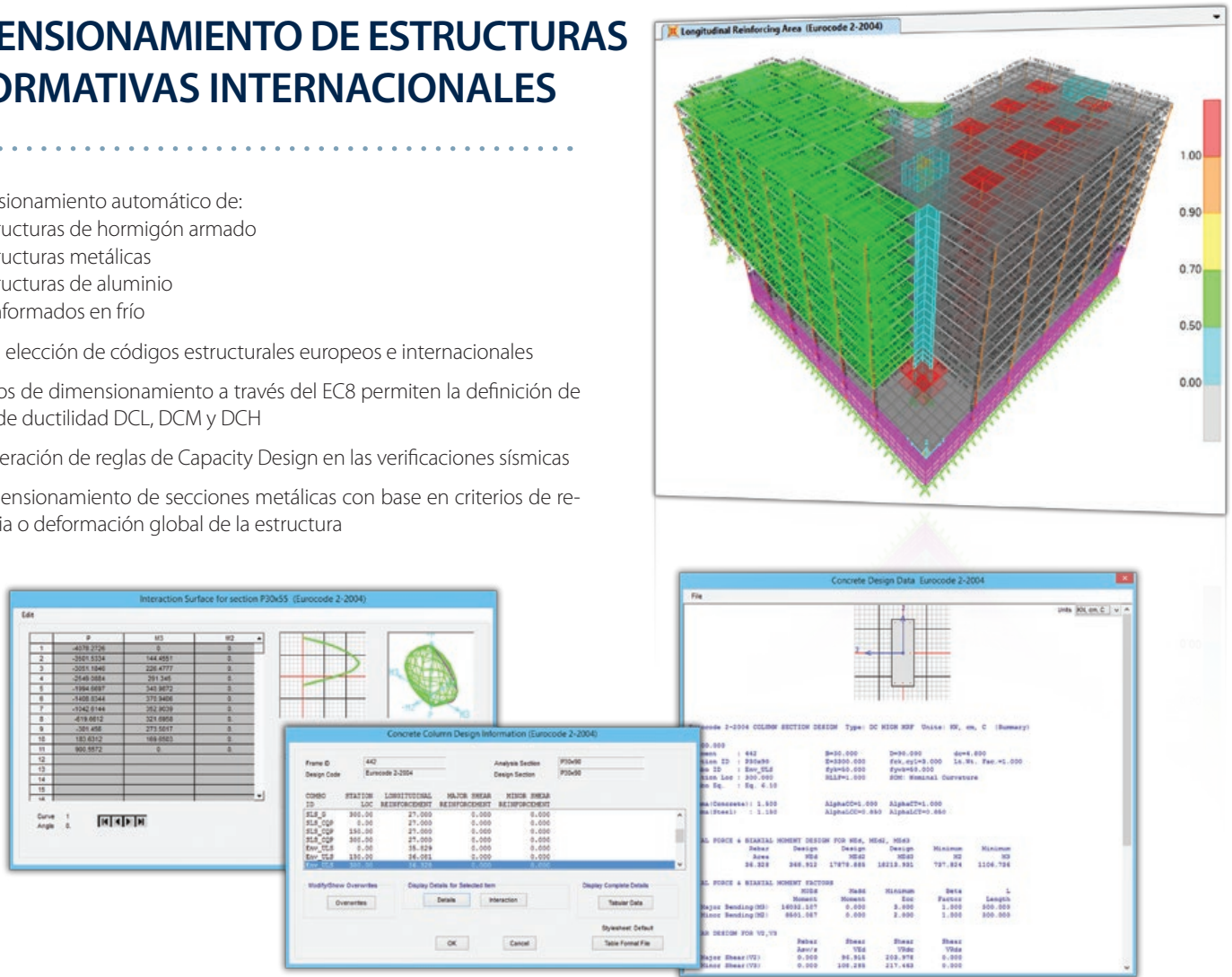


Imagen15: Dimensionamiento automático de estructuras de hormigón armado

MODELADO CON CABLES ESTRUCTURALES

- ▶ Fácil definición de la geometría inicial de cables a través de una herramienta de configuración específica
- ▶ Posibilidad de iterar automáticamente la configuración inicial de cables a través de fuerzas objetivo en los mismos

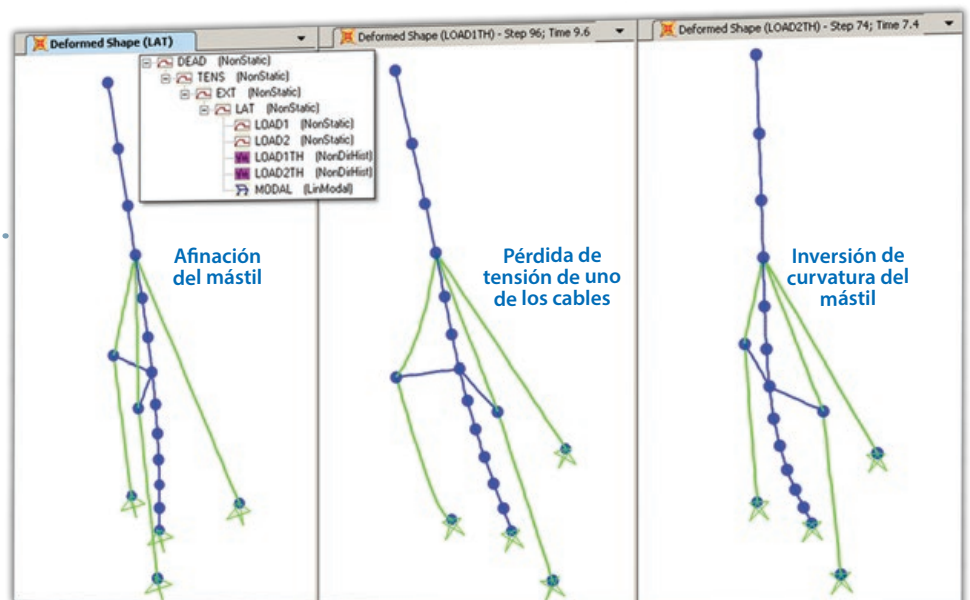


Imagen 16: Afinación progresiva de mástil de aluminio restringido por cables de acero

EDICIÓN INTERACTIVA DEL MODELO A TRAVÉS DE EXCEL

- Todos los datos del modelo se pueden editar a través de tablas en Excel
- Se pueden añadir también resultados del modelo al mismo fichero de Excel de configuración de datos
- Fácil implementación de rutinas de posprocesamiento con posible interacción con cargas y geometría del modelo inicial, usando únicamente Excel

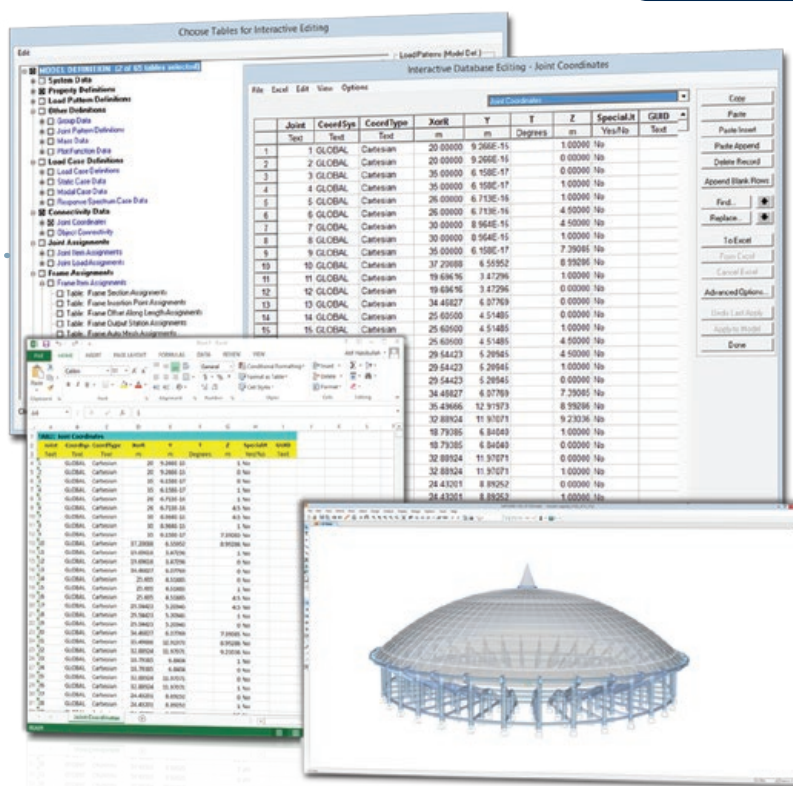


Imagen 17: Construcción geométrica de cúpula utilizando tablas de Excel

ACCESO A TRAVÉS DE API PARA CREACIÓN DE PRE Y POSPROCESADORES

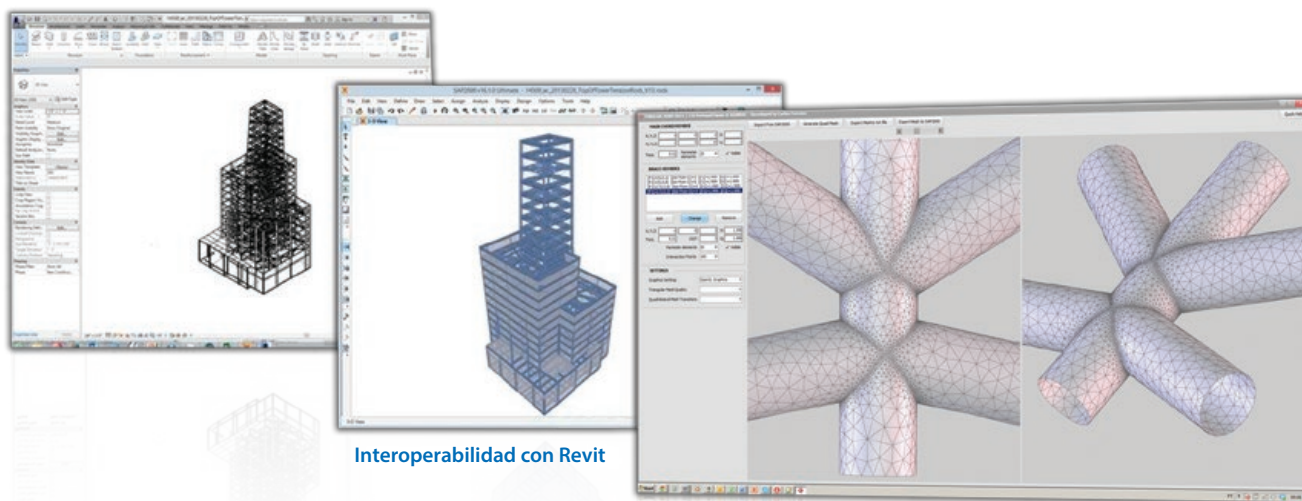


Imagen 18: Ejemplos de utilización de API

- A través de API (Application Programming Interface) es posible:
 - controlar la aplicación y sus instancias en el ordenador
 - crear, salvar y abrir modelos
 - editar modelos
 - ejecutar modelos
 - acceder a los resultados de los cálculos
- Se pueden utilizar varios lenguajes de programación:
 - VBA, VB.NET, C #, C ++, Visual Fortran, Python y Matlab
- Algunas herramientas disponibles en CSI son ellas mismas ejemplos de aplicaciones que funcionan como API:
 - CSI Revit Link - para interacción bidireccional entre Autodesk Revit y los productos de CSI
 - CSI Load Optimizer - el optimizador de cargas en SAP2000
 - Tubular Mesh - versión beta de un nuevo generador de mallas para SAP2000



COMPUTERS & STRUCTURES, INC.

SPAIN



www.csiespana.com

general@csiespana.com

ventas@csiespana.com

