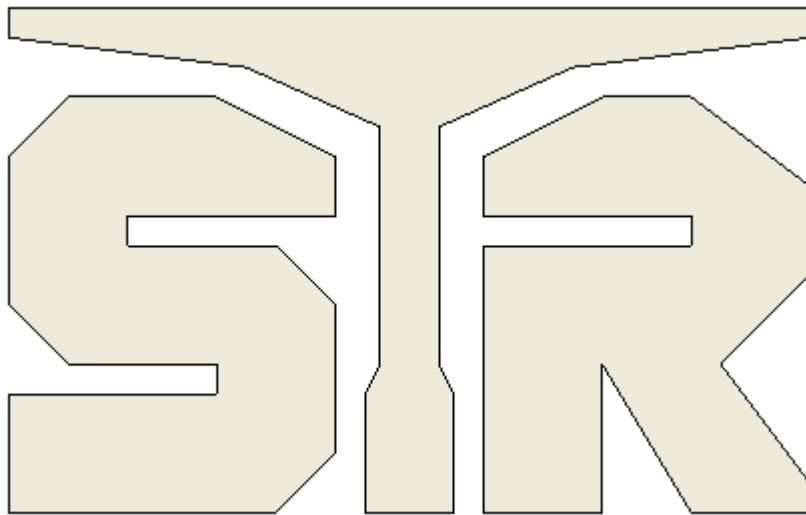


STR Cálculo de Estructuras

Versión: 5



INDICE:

INTRODUCCION.....	4
REQUISITOS DEL PROGRAMA.....	5
INSTALACIÓN DE LA APLICACIÓN.....	5
INICIO DE LA APLICACIÓN.....	6
OPERACIONES PRINCIPALES QUE REALIZA STR	7
PROYECTO DE ESTRUCTURAS	8
CONCEPTOS BASICOS	9
UNIDADES DE MEDIDA	9
SISTEMA DE COORDENADAS GLOBAL	10
SISTEMAS DE COORDENADAS LOCALES.....	11
SISTEMAS DE COORDENADAS DE PANTALLA E IMPRESORA	12
GRADOS DE LIBERTAD	13
CONCEPTO DE NUDO.....	14
CONCEPTO DE BARRA.....	14
CONCEPTO DE APOYO	15
CONCEPTO DE ACCION.....	16
CONCEPTO DE ESTADO DE CARGA	16
CONFIGURACION DE LA APLICACIÓN.....	17
INTRODUCCIÓN DE DATOS	18
ÍNDICE DE INTRODUCCIÓN DE DATOS.....	18
CREAR UNA NUEVA ESTRUCTURA.....	19
GUARDAR UNA ESTRUCTURA	20
ABRIR UNA ESTRUCTURA EXISTENTE	20
DEFINICION DE SECCIONES.....	21
DEFINICION DE MATERIALES.....	24
DEFINICIÓN DE NUDOS	27
1.- INTRODUCCION DE NUDOS GRAFICAMENTE	27
2.- INTRODUCCION DE NUDOS NUMÉRICAMENTE.....	28
3.- INTRODUCCION DE NUDOS DESDE ARCHIVO ASCII.....	28
4.- INTRODUCCION DE NUDOS DESDE GENERACION AUTOMÁTICA	28
5.- INTRODUCCION DE NUDOS CON LA FUNCIÓN COPIAR	28
RENUMERACION DE NUDOS	29
BORRADO DE NUDOS	29
DEFINICIÓN DE BARRAS.....	30
1.- INTRODUCCION DE BARRAS GRAFICAMENTE	30
2.- INTRODUCCION DE BARRAS NUMERICAMENTE	30
3.- INTRODUCCION DE BARRAS DESDE ARCHIVO ASCII.....	30
4.- INTRODUCCION DE NUDOS DESDE GENERACION AUTOMÁTICA	31
5.- INTRODUCCION DE NUDOS CON LA FUNCIÓN COPIAR	31
DATOS ASOCIADOS A LAS BARRAS	31
ASIGNAR MATERIAL Y SECCIÓN A LAS BARRAS	32
BORRADO DE BARRAS.....	32
DEFINICIÓN DE APOYOS.....	33
DEFINICIÓN DE CARGAS.....	35
DEFINICION DE CARGAS DENTRO DE UN DETERMINADO ESTADO.....	36
ENVOLVENTES DE ESTADOS	40
COMBINACIONES	42
ENVOLVENTES DE COMBINACIONES	43
CÁLCULO.....	44
CÁLCULO ELÁSTICO LINEAL	44
CÁLCULO DE 2º ORDEN (P-Delta).....	44
CÁLCULO DE LÍNEAS DE INFLUENCIA	45
TIEMPOS DE CÁLCULO.....	46
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	47

DATOS Y RESULTADOS GRÁFICOS EN PANTALLA	48
DATOS Y RESULTADOS GRÁFICOS EN IMPRESORA.....	50
DATOS Y RESULTADOS NUMÉRICOS.....	51
MEMORIA DE CÁLCULO	53
STR CÁLCULO DE ESTRUCTURAS ...	53
HIPÓTESIS BÁSICAS DE CÁLCULO	53
PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE MOVIMIENTOS Y ESFUERZOS.....	54
MÉTODO DE LA RIGIDEZ	55
CÁLCULO DE ESTADOS	56
CALCULO DE ENVOLVENTES DE ESTADOS EXCLUYENTES	56
CALCULO DE ENVOLVENTES DE ESTADOS NO EXCLUYENTES.....	56
CALCULO DE COMBINACIONES.....	57
CALCULO DE ENVOLVENTES DE COMBINACIONES.....	57
CALCULO DE ESFUERZOS CONCOMITANTES	57
CALCULO DE TENSIONES	58

INTRODUCCION

STR es una herramienta dedicada al cálculo de estructuras 3D modelizadas mediante barras.

Los modelos de cálculo representan una simulación informática de una estructura real. Cuanto más parecido sea el modelo a la estructura real, más precisos serán los resultados obtenidos. Sin embargo, es prácticamente imposible la modelización exacta de una estructura con su geometría real y sus cargas reales. Por ello, existen normativas acerca de las cargas a aplicar, las combinaciones a realizar y coeficientes de seguridad a tener en cuenta tanto en acciones como en características de los materiales.

La realización del modelo adecuado, tanto geométrico como de acciones, así como la interpretación de los resultados obtenidos debe ser realizada por técnicos competentes, formados en el campo del cálculo de estructuras y resistencia de materiales.

Es responsabilidad del usuario la introducción de los datos adecuados, y la comprobación e interpretación de los resultados, si es necesario incluso realizando cálculos independientes.

Para facilitar la introducción de datos e interpretación de resultados, STR se basa en los siguientes principios:

- Introducción clara, sencilla y rápida de datos, con opciones de visualización gráfica
- Conocimiento de los métodos e hipótesis de cálculo que se realizan
- Obtención clara, sencilla y rápida de resultados, con opciones de visualización gráfica

El primer principio facilita la introducción de datos y permite 'visualizar' la geometría y acciones de manera que cualquier error introduciendo datos permita que nos percatemos de ello lo antes posible.

El segundo principio se basa en que STR no tiene incluidas hipótesis de cálculo por defecto, ni realiza simplificaciones, ni aplica coeficientes adicionales. El cálculo se basa en los criterios de cálculo (definidos en el apartado correspondiente) aplicados a los datos de cada estructura. Es responsabilidad del usuario aplicar los coeficientes de seguridad, simplificaciones, ajustes e interpretaciones que las normas o su criterio estimen oportunos en cada caso.

El tercer principio permite al usuario 'visualizar' de manera gráfica los resultados en forma de deformadas y leyes de esfuerzos (flectores, cortantes, axiles, torsores y tensiones).

REQUISITOS DEL PROGRAMA

Los requisitos mínimos para el funcionamiento del programa son:

- Ordenador ejecutando Microsoft Windows Windows XP o superior (recomendado Windows 8)
- Microsoft Framework 4
- Acceso como Administrador del sistema durante la instalación

Microsoft Framework 4 está disponible en la página web de Microsoft. Si no está instalado, al instalar STR se descargará e instalará este componente automáticamente si se dispone de conexión a Internet.

INSTALACIÓN DE LA APLICACIÓN

Para instalar la aplicación debe:

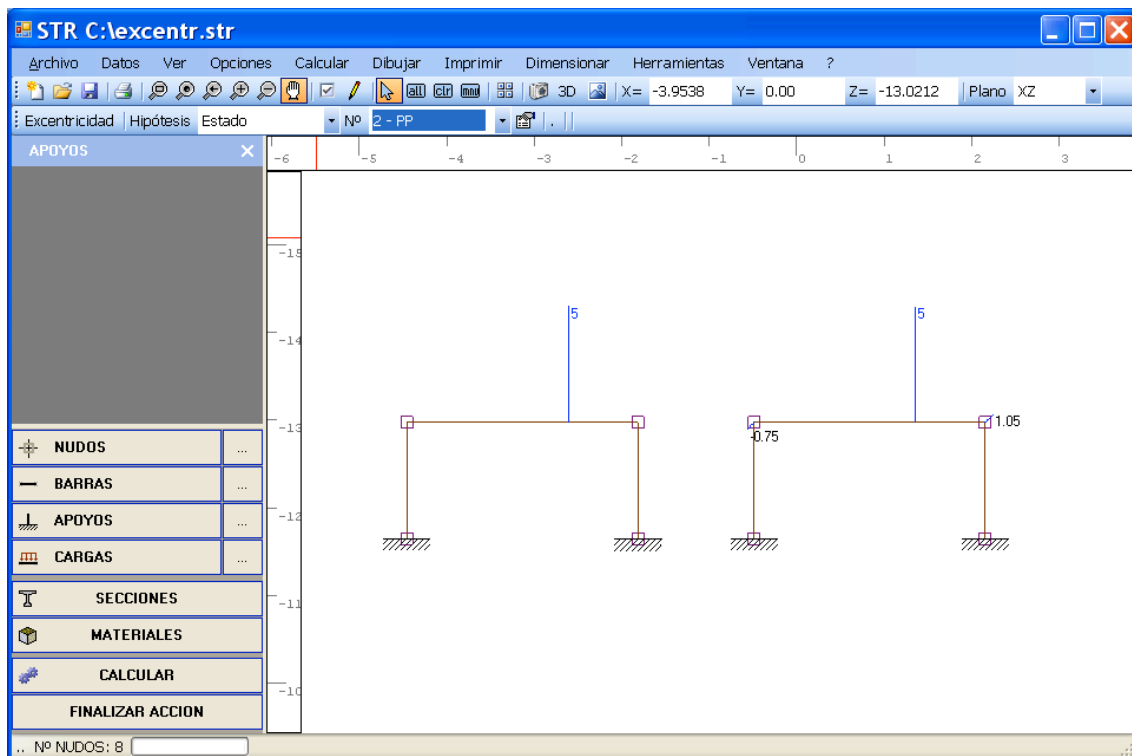
- Entrar en su sistema como Administrador
- Ejecutar el archivo SETUP.EXE contenido en los discos de la aplicación
- Confirmar la ruta de instalación del programa

INICIO DE LA APLICACIÓN

El inicio de la aplicación se realiza mediante el icono correspondiente en el escritorio o menú de programas.

La pantalla de la aplicación se divide en los siguientes elementos:

- Menú superior: Todas las opciones disponibles en cada momento
- Barra superior: Barra de iconos con las opciones más frecuentes
- Barra lateral: Acceso rápido a las principales funciones del programa
- Zona central: Donde se localiza la estructura actual



OPERACIONES PRINCIPALES QUE REALIZA STR

STR realiza las siguientes tareas:

CALCULO ELÁSTICO LINEAL DE ESTRUCTURAS DE BARRAS

- Estructuras reticulares 3D y 2D
- Estructuras articuladas 3D y 2D
- Emparrillados
- Estados de carga ilimitados
- Envolventes de estados excluyentes
- Envolventes de estados no excluyentes
- Combinaciones de estados y envolventes
- Envolventes de combinaciones
- Acciones ilimitadas en cada estado:
 - Puntuales (fuerzas y momentos) en nudos y barras
 - Repartidas en toda o parte de las barras
 - Superficiales en toda o parte de las barras
 - Trapeciales y triangulares en toda o parte de las barras
 - Incrementos de temperatura
 - Fuerzas equivalentes de pretensado

CALCULO DE SEGUNDO ORDEN Y P-DELTA

- Cálculo de p-Delta local, modificando la matriz de rigidez de cada barra en función del axil existente
- Cálculo iterativo de segundo orden calculando sobre la deformada de la iteración previa.

CALCULO DE ESTRUCTURAS EVOLUTIVAS

Estructuras que experimentan cambios en geometría en unos estados de carga respecto a otros.

CALCULO DE LINEAS DE INFLUENCIA

- De cualquier esfuerzo (axil, flector, cortante, torsor)
- De cualquier desplazamiento
- En cualquier sección de la estructura

DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO MEDIANTE EHE

- Dimensionamiento de secciones a flexión simple
- Comprobación de secciones a flexión compuesta

Para facilitar el uso del programa:

La ENTRADA DE DATOS puede ser gráfica, numérica o mediante archivo de texto.

La OBTENCION DE RESULTADOS puede ser gráfica, numérica o mediante archivo de texto.

Existen funciones de copiar y pegar, selección de elementos para aplicar cambios de forma masiva, posibilidad de cambio del punto de vista en 3D, trabajar sobre ejes de referencia o sobre una malla, ..

PROYECTO DE ESTRUCTURAS

El proyecto de estructuras debe realizarse según la normativa de cada país y consta normalmente de los siguientes elementos:

- Memoria descriptiva de la estructura
- Anejo de cálculo de la estructura
- Pliego de prescripciones técnicas
- Presupuesto
- Planos

Previo al proyecto es necesario seguir unos determinados pasos básicos:

- Evaluación de las necesidades del cliente y funciones de la estructura.
- Definición clara de los objetivos de la estructura.
- Evaluación de las normativas e hipótesis a emplear.
- Definición de un esquema resistente con su tipología, materiales y elementos principales.
- Validación mediante un modelo de cálculo.
- Definición completa de la estructura.
- Comprobación y dimensionamiento de todos los elementos estructurales y detalles mediante uno o varios modelos de cálculo.
- Comprobación de los elementos estructurales en fase de construcción.

En todo el proceso de diseño, es necesario realizar tanteos, comprobaciones, cálculos auxiliares, que permitan obtener la estructura óptima en cuanto y diseño y funcionalidad.

STR permite la realización de modelos estructurales y ayudar al ingeniero o arquitecto a comprobar estructuralmente su diseño.

El proyectista es el único responsable y único autor de su obra. Su trabajo no puede ni podrá ser reemplazado por un programa informático. LA ACEPTACION DE ESTE PRINCIPIO ES FUNDAMENTAL PARA EL USO DE 'STR CALCULO DE ESTRUCTURAS'.

STR DEBERÁ SER USADO EXCLUSIVAMENTE POR INGENIEROS O ARQUITECTOS FORMADOS EN EL CAMPO DEL CALCULO DE ESTRUCTURAS Y RESISTENCIA DE MATERIALES.

ES OBLIGACION DEL USUARIO LEER, Y COMPRENDER, LOS CRITERIOS DE CALCULO EMPLEADOS POR STR. SI UN USUARIO NO LOS ENTIENDE NO DEBERÁ EMPLEAR STR PARA CALCULAR ESTRUCTURAS.

EL PROYECTISTA ES RESPONSABLE DE SUS CALCULOS. SI ES NECESARIO DEBERÁ COMPROBAR Y VALIDAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LOS MEDIOS QUE ESTIME OPORTUNOS (METODOS MANUALES, SIMPLIFICACIONES, OTRAS APLICACIONES,...)

CONCEPTOS BASICOS

Para el manejo de STR es necesario conocer el significado de los siguientes elementos:

UNIDADES DE MEDIDA

STR calcula con unidades coherentes.

Se pueden calcular estructuras con cualquier tipo de unidades existentes o incluso nuevas, siempre que se respeten en todos los elementos de la estructura.

En la ficha de preferencias de cada estructura se deberá indicar:

- Unidad de fuerza a emplear
- Unidad de longitud a emplear

Por ejemplo, indicando: Ud fza = KN Ud longitud = m
estaremos obligados a introducir las coordenadas de los nudos en m, las cargas puntuales en KN, las áreas de secciones en m², obtendremos momentos en m·KN, cortantes en KN, desplazamientos en m y así para cualquier dato o resultado de la estructura.

Por tanto:

- STR puede emplear cualquier tipo de unidades
- Una vez decidida la unidad a usar se deberá usar en todos los elementos de la estructura
- STR no realiza ningún cambio de unidades.
- Si se modifican los datos de unidades en la pantalla de preferencias, STR entenderá que se están empleando las nuevas unidades, pero no modificará los datos existentes.

SISTEMA DE COORDENADAS GLOBAL

El sistema de coordenadas global es un sistema de coordenadas cartesianas que ubica en el espacio cada elemento de la estructura.

Se representa mediante las letras mayúsculas X – Y – Z.

Al ser un sistema cartesiano, los ejes X-Y-Z forman ángulos de 90° entre si.

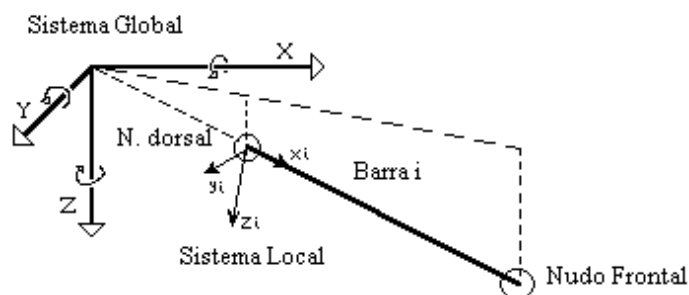
Las unidades de medida en el sistema de ejes globales son las definidas por el usuario en las propiedades de cada estructura (normalmente se emplea el metro).

Para cada estructura el sistema de coordenadas global es único.

Una traslación o rotación de todos los elementos de la estructura en dicho sistema no afecta al cálculo. Es decir, si desplazamos el 100% de los nudos de la estructura 1m en el sentido del eje X global, los resultados del cálculo son los mismos, simplemente tendremos unas nuevas coordenadas de los nudos, pero las propiedades de la estructura y sus barras son las mismas.

El sistema de coordenadas global es básico para la definición de los nudos (y por tanto de la geometría) de la estructura. Todos los resultados referidos a nudos se darán en ejes globales.

Para facilitar la introducción de datos y la visualización de las estructuras, en STR se visualiza el eje Z siempre de arriba a abajo. Por tanto Z es la dirección de introducción de acciones gravitatorias en sentido positivo.



SISTEMAS DE COORDENADAS LOCALES

Los sistemas de coordenadas locales son sistemas de coordenadas cartesianas ubicados en cada una de las barras de la estructura. Para cada estructura existen tantos sistemas locales como barras.

Se representan mediante las letras minúsculas $x - y - z$.

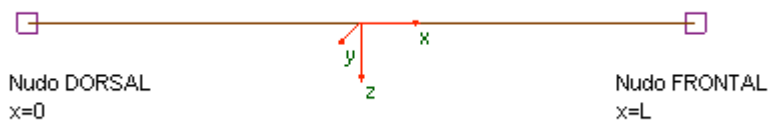
Al ser un sistema cartesiano, los ejes $x-y-z$ de cada sistema local forman ángulos de 90° entre sí.

- El eje x tiene siempre la misma dirección que la barra, con la $x=0$ en el nudo dorsal y $x=L$ en el nudo frontal, siendo L la longitud de la barra.
- El eje y está por defecto contenido en el plano horizontal (paralelo a XY) que pasa por el nudo dorsal de la barra, formando 90° con el anterior eje x .
- El eje z es el único eje perpendicular a los anteriores que pasa por el nudo dorsal.

(El nudo dorsal es el nudo de menor numeración de los extremos de la barra).

Los ejes locales se pueden girar sobre el eje x entrando en las propiedades de las barras.

Al visualizar los ejes locales en STR, se dibujan en el centro de la barra para facilitar su interpretación ya que en los nudos pueden llegar múltiples barras. En cualquier caso insistimos en que el origen de x se encuentra en el nudo dorsal.



Las unidades de medida en los sistemas de ejes locales son las mismas que las del sistema global y por tanto son las definidas por el usuario en las propiedades de cada estructura (normalmente se emplea el metro).

Una traslación o rotación de todos los elementos de la estructura en dicho sistema no afecta al cálculo. Es decir, si desplazamos el 100% de los nudos de la estructura 1m en el sentido del eje X global, los resultados del cálculo son los mismos, simplemente tendremos unas nuevas coordenadas de los nudos, pero las propiedades de la estructura y sus barras son las mismas.

El sistema de coordenadas global es básico para la definición de los nudos (y por tanto de la geometría) de la estructura.

Todas las propiedades y resultados de barras vienen referidas normalmente a ejes locales:

- Propiedades de las secciones: Inercia I_y , inercia I_z , inercial a torsión J_x
- Esfuerzos de las barras.

Las acciones en barras pueden ir referidas a ejes locales o a ejes globales.

Los esfuerzos de las barras vienen referidos a ejes locales de las barras siempre vistos desde el nudo frontal para la interpretación de signos.

Conviene renumerar los nudos antes de introducir acciones para orientar los ejes locales de una manera adecuada.

SISTEMAS DE COORDENADAS DE PANTALLA E IMPRESORA

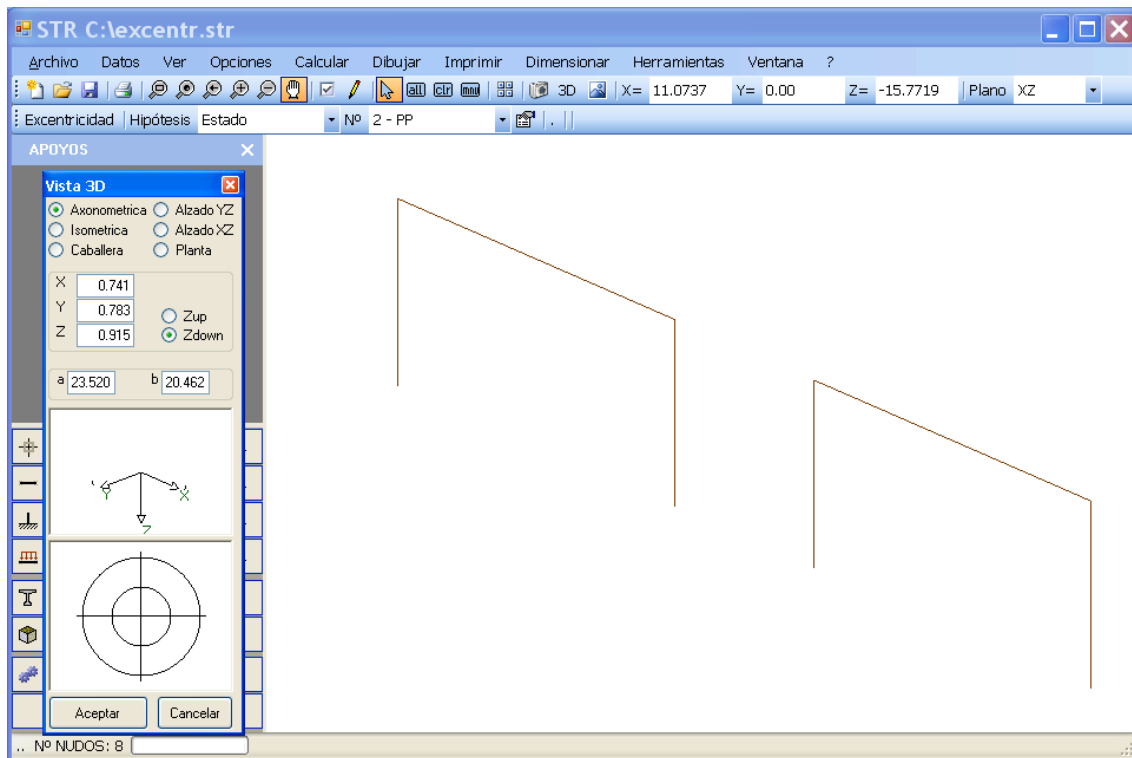
Aunque nuestro sistema global y sistemas locales sean en 3D, finalmente hemos de visualizar en una pantalla 2D (o en una hoja de papel 2D) los datos y resultados.

El sistema de coordenadas en pantalla representa un punto de vista de un observador y su modificación no afecta al cálculo.

Mediante el menú *Opciones-Vistas-Punto de vista* o mediante los iconos  podemos elegir el punto de vista actual, que puede ser:

- Alzado XZ
- Alzado YZ
- Planta XY
- Isométrica
- Caballera
- Axonométrica

En cualquier caso, el eje Z global que representa la dirección de las cargas gravitatorias se representa en sentido vertical.



Se pueden grabar varios puntos de vista para volver a una posición anterior de un observador (Menú *Opciones-Vistas-Guardar vista actual*).

El punto de vista actual, se utiliza tanto para las presentaciones en pantalla como para la impresión.

GRADOS DE LIBERTAD

Los grados de libertad representan los posibles movimientos de cada nudo de la estructura.

Los grados de libertad máximos de un nudo (reticulada 3D) son:

- Desplazamiento X
- Desplazamiento Y
- Desplazamiento Z
- Giro X
- Giro Y
- Giro Z

Los otros tipos de estructuras, reticulada 2D, articuladas y emparrillados son casos especiales de la reticulada 3D.

Grados de libertad permitidos						Esfuerzos resistentes					
Desplazamiento			Giro			Axial	Cortantes		Torsor	Flectores	
X	Y	Z	X	Y	Z	Nx	Qy	Qz	Tx	My	Mz
Reticulada 3D	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
Reticulada 2D	°		°		°	°		°		°	
Articulada 3D	°	°	°			°					
Articulada 2D	°		°			°					
Emparrillado			°	°	°			°	°	°	

El tiempo de cálculo depende principalmente del número de grados de libertad de la estructura.

El número de grados de libertad totales es igual al número de nudos por el número de grados de libertad de cada nudo.

En realidad, en STR todas las estructuras son espaciales. Cuando un grado de libertad no está permitido, lo que indicamos es que de la estructura espacial, los nudos no se podrán desplazar en la dirección de dicho grado de libertad.

Un grado de libertad no permitido equivale a un apoyo en esa dirección, aunque con un ahorro en tiempo de cálculo, una mejor presentación al no tener que presentar todos los nudos de la estructura apoyados y una mejor interpretación, ya que se sabe de antemano que esos desplazamientos son nulos, por lo que no se dan en los listados de resultados.

Al calcular estructuras planas como espaciales es fácil que se produzcan mecanismos por movimiento de la estructura fuera de su plano. Fijando grados de libertad globales evitaremos la formación de dicho mecanismos.

Los esfuerzos resistentes indican las formas de resistir las cargas que tiene la estructura. Esto queda aplicado en toda la estructura. Así por ejemplo, si queremos introducir rotulas en todos los nudos, la manera más sencilla es anular la capacidad de resistir a flexión de las barras.

De esta manera, en estructuras articuladas se puede suponer que las barras sólo son capaces de resistir axiles, lo que hará que los flectores sean nulos.

La liberación de esfuerzos resistentes facilita el cálculo y la interpretación de resultados, ya que sólo se dan los resultados de aquellos grados de libertad que resisten. Sin embargo existe mayor posibilidad de que se formen mecanismos, ya que por ejemplo una barra incapaz de resistir flectores equivale a una barra con inercia nula.

CONCEPTO DE NUDO

Los nudos son puntos de la estructura definidos por sus coordenadas X-Y-Z y por un número de orden.

Los nudos se numeran desde 1 hasta N, siendo N el número total de nudos. Al borrar un nudo, el resto de nudos se renumera automáticamente de tal manera que nunca queden huecos.

Si desea identificar a un nudo con un nombre, que se mantenga en las posibles reenumeraciones de nudos, puede utilizar la propiedad nombre de cada nudo.

Los nudos (y todas sus características) van referidos siempre a EJES GLOBALES.

El nudo es el objeto que se utiliza para definir extremos de barras. Varias barras pueden tener un mismo nudo como extremo.

Las condiciones de contorno siempre van asociadas a los nudos.

Al borrar un nudo se eliminan todas las barras que llegan a dicho nudo y las condiciones de contorno de dicho nudo.

CONCEPTO DE BARRA

Las barras son elementos estructurales resistentes que se definen básicamente por:

- Dos nudos (nudo dorsal y nudo frontal)
- Número de sección
- Número de material
- Otras características: Ancho tributario, tipo de elemento, rótulas, nombre

Representan los elementos resistentes de la estructura.

Cada barra tiene una sola sección. Si desea definir secciones de canto variable, puede dividir una barra en varias partes, y asociar secciones diferentes a cada una de las barras obtenidas.

La directriz de la barra es una línea recta que une los nudos frontal y dorsal de la barra. Si se desea definir barras con directriz curva, puede dividir la barra en varias partes y modificar las coordenadas obtenidas para formar la nueva directriz, para obtener un conjunto de barras que forman un elemento curvo.

Varias barras que se unen en un nudo se consideran empotradas en dicho nudo, salvo que una de las barras tenga una rótula en el extremo, o el tipo de estructura sea articulada.

Cada barra tiene un sistema de coordenadas local (definido anteriormente).

CONCEPTO DE APOYO

Los apoyos son condiciones de contorno que se aplican a los nudos, de tal manera que se fija o se condiciona uno o varios grados de libertad del nudo apoyado.

Los apoyos siempre van asociados a grados de libertad de los nudos.

Existen tres tipos de apoyos: (Llamando d al desplazamiento de un grado de libertad)

- Apoyos fijos: Se impide el desplazamiento del grado de libertad correspondiente

$$d = 0$$

- Apoyos elásticos: El desplazamiento depende de la reacción obtenida.
La definición de un apoyo elástico se realiza mediante el valor de su constante elástica K (ud de fuerza/ud de longitud)

$$d = R / K \quad \text{siendo } R \text{ la reacción}$$

- Desplazamiento fijo: Permiten fijar el movimiento de un grado de libertad.

$$d = df \quad \text{siendo } df \text{ dato}$$

Los apoyos que se definen en una estructura son los mismos para todos los estados de carga.

La introducción de apoyos fijos o apoyos elásticos, no introducen esfuerzos en la estructura, mientras que los desplazamientos fijos, generan unos esfuerzos y deformaciones sobre la estructura.

Por ello, SOLO DEBERIA USARSE EL APOYO DE DESPLAZAMIENTO FIJO EN ESTRUCTURAS CON UN ÚNICO ESTADO DE CARGA ya que el desplazamiento dado y los esfuerzos generados por dicho desplazamiento quedarán asignados a cada estado de carga.

En realidad STR permite generar estructuras con apoyos diferentes en diferentes estados de carga mediante el uso de 'estructuras evolutivas' donde los esfuerzos de un determinado estado de carga provienen de otra estructura. Este tipo de cálculo se verá en apartados posteriores.

CONCEPTO DE ACCION

Una acción representa una fuerza aplicada en un elemento de la estructura.

Las acciones se definen exclusivamente dentro de un ESTADO DE CARGA.

Se pueden aplicar acciones a nudos y a barras.

Los tipos de acciones que permite utilizar STR son:

- Puntuales (fuerzas y momentos) en nudos y barras
- Repartidas en toda o parte de las barras
- Superficiales en toda o parte de las barras
- Trapeciales y triangulares en toda o parte de las barras
- Incrementos de temperatura
- Fuerzas equivalentes de pretensado

CONCEPTO DE ESTADO DE CARGA

Representa un conjunto agrupado de acciones.

Cada estado de carga se calcula de manera totalmente independiente del resto de estados.

Para un punto de la estructura, cada estado de carga tiene un resultado único, tanto en desplazamientos como en esfuerzos.

CONCEPTO DE ENVOLVENTE

Una envolvente representa el valor máximo y mínimo de un conjunto de estados.

Hay dos tipos de envolventes:

- Excluyentes: Los valores máximo y mínimo obtenidos para cada punto, corresponden a un único estado de la envolvente. Es decir, son los valores pésimos de cada uno de los estados. Por ejemplo, si disponemos de una carga móvil, la carga solo puede estar en un punto, y la envolvente representará la envolvente de los estados que definen la carga móvil.
- No excluyentes: Los valores máximo y mínimo obtenidos para cada punto, corresponden a la suma de los valores pésimos de cada uno de los estados. Por ejemplo, si tenemos una sobrecarga variable aplicada en diferentes vanos, con estados diferentes para cada vano, la envolvente cargará o descargará adecuadamente los vanos para obtener los valores pésimos.

Para un punto de la estructura, cada envolvente tiene un valor máximo y un mínimo.

CONCEPTO DE COMBINACIÓN

Suma de estados y/o envolventes multiplicadas por un coeficiente.

CONFIGURACION DE LA APLICACIÓN

Podemos acceder a la configuración mediante el menú *Archivo-Configuración*:

En la pantalla de configuración podemos fijar los datos que se usarán por defecto para crear nuevas estructuras:

- Nº de divisiones por barra para diagramas
- Unidad de fuerza
- Unidad de longitud
- Formato numérico de esfuerzos
- Formato numérico de desplazamientos
- Formato numérico de longitudes y coordenadas

El nº de divisiones por barra para diagramas permite modificar el nº de puntos en que se calculan y dibujan los diagramas en cada barra. El tiempo de cálculo un diagrama es proporcional al valor dado.

También el nº de puntos por barra en que podemos ver el valor numérico de un diagrama depende de este valor. Por ejemplo para un valor 30 podremos ver los valores en 1, 2, 3, 4, 6, 7, 11, 16 y 31 puntos por barra (cada divisor +1). Se recomienda por tanto introducir un nº par y altamente divisible, por ejemplo 30.

Para la definición de los formatos empleamos la siguiente notación:

- 0: Incluir el dígito. Por ejemplo si queremos 4 decimales: 0.0000
- #: Pone el dígito si existe, sino lo oculta. Ejemplo 0.00##
- E: Símbolo exponencial. Ejemplo 0.00E+00

INTRODUCCIÓN DE DATOS

ÍNDICE DE INTRODUCCIÓN DE DATOS

Resumidamente, las tareas que necesitamos conocer para gestionar la introducción de datos son:

GESTIÓN DE ARCHIVOS

- Crear una nueva estructura
- Guardar una estructura
- Abrir una estructura existente

GESTIÓN BASICA DE DATOS DE UNA ESTRUCTURA

- Definición de secciones
- Definición de materiales
- Definición de nudos
- Definición de barras
- Definición de apoyos
- Definición de cargas
- Borrar elementos

OTRAS OPCIONES DE INTRODUCCION DE DATOS

- Generación automática de nudos y barras
- Definición de grupos de elementos
- Trabajo con selecciones de nudos
 - Desplazar
 - Alinear
 - Apoyar
 - Fijar separación entre nudos
 - Borrar nudos
- Trabajo con selecciones de barras
 - Asignar material y sección
 - Asignar ancho tributario
 - Asignar tipo de elemento
 - Asignar giro sobre eje x
 - Asignar rección de rigidez
 - Asignar rótulas
 - Dividir barras
 - Asignar nombre
 - Copiar y pegar nudos y barras
 - Borrar barras
- Renumeración de nudos y barras
- Generación de cargas móviles
- Generación de acciones de pretensado

CREAR UNA NUEVA ESTRUCTURA

Para crear una nueva estructura pulsamos el menú *Archivo-Nuevo* o bien el icono  de nueva estructura.

Obtendremos la pantalla de preferencias donde introducimos los datos básicos de la estructura:



Preferencias

DATOS GENERALES

Proyecto

Estructura

Situación

Autor

Fecha

GRADOS DE LIBERTAD PERMITIDOS (Global)

☒ Desplazamiento X ☒ Giro X

☒ Desplazamiento Y ☒ Giro Y

☒ Desplazamiento Z ☒ Giro Z

ESFUERZOS RESISTENTES (Locales)

☒ Axil Nx ☒ Torsor Tx

☒ Cortante Qy ☒ Flector My

☒ Cortante Qz ☒ Flector Mz

OTROS DATOS

☐ Matriz rigidez teniendo en cuenta deformación por cortante (Sóamente barras sin rótulas y $G > 0$ y $A_{reducida} > 0$)

Nº puntos de cálculo por barra Ud Longitud Ud Fuerza

Cálculo en 2º orden

Tolerancia Nº máximo de iteraciones

☒ (F3) Aceptar ☐ Cancelar

Es importante tener claro el modelo estructural, el tipo de estructura y las unidades a emplear antes de empezar a trabajar en una nueva estructura.

Posteriormente podremos acceder a la pantalla de preferencias desde el menú *Calcular-Preferencias*.

Los datos generales de proyecto, estructura, situación, autor y fecha son opcionales.

El tipo de modelo estructural articulada, reticulada o emparrillado se puede seleccionar liberando o fijando los grados de libertad y esfuerzos resistentes correspondientes, o bien pulsando el botón con el tipo de estructura.

Se puede calcular la matriz de rigidez teniendo en cuenta la deformación por cortante activando la opción correspondiente en la pantalla de preferencias. Sólo se aplicará a barras con área reducida > 0 y con un material cuyo $G > 0$.

El nº de puntos de cálculo, la unidad de longitud y la unidad de fuerza por defecto será la existente en la configuración, pero puede ser modificado en la estructura.

Los datos de 2º orden de tolerancia y nº máximo de iteraciones permiten fijar un criterio para detener sucesivas iteraciones en cálculos de segundo orden. No es necesario indicar nada en estos datos para cálculo elástico lineal.

GUARDAR UNA ESTRUCTURA

Para grabar los datos de una estructura pulsamos el menú *Archivo-Grabar* o bien el icono  de grabar estructura o bien la tecla F2.

Si es la primera vez que se graba la estructura el programa pedirá el nombre del archivo donde grabar la estructura. Sino simplemente se grabará el archivo con los datos actuales.

Pulsando la opción del menú *Archivo-Grabar como* podremos grabar los datos actuales de la estructura en otro archivo diferente al actual.

Los archivos de estructuras son archivos de texto plano, que por defecto tienen la extensión STR. Estos archivos se pueden modificar manualmente, aunque se debe conocer el formato esperado por el programa ya que la modificación incorrecta de los archivos STR puede generar un comportamiento del programa no predecible.

ABRIR UNA ESTRUCTURA EXISTENTE

Para abrir una estructura pulsamos el menú *Archivo-Abrir* o bien el icono  de abrir estructura.

Seleccionamos el archivo a abrir y pulsamos el botón de aceptar.

En el menú *Archivo* aparecen también accesos rápidos a las cinco últimas estructuras utilizadas.

DEFINICION DE SECCIONES

STR permite definir tantas secciones como sea necesario en cada estructura. Posteriormente podemos asignar una sección a un grupo de barras de la estructura.

Para realizar un cálculo matricial, los datos que se necesita conocer de las secciones de las barras son:

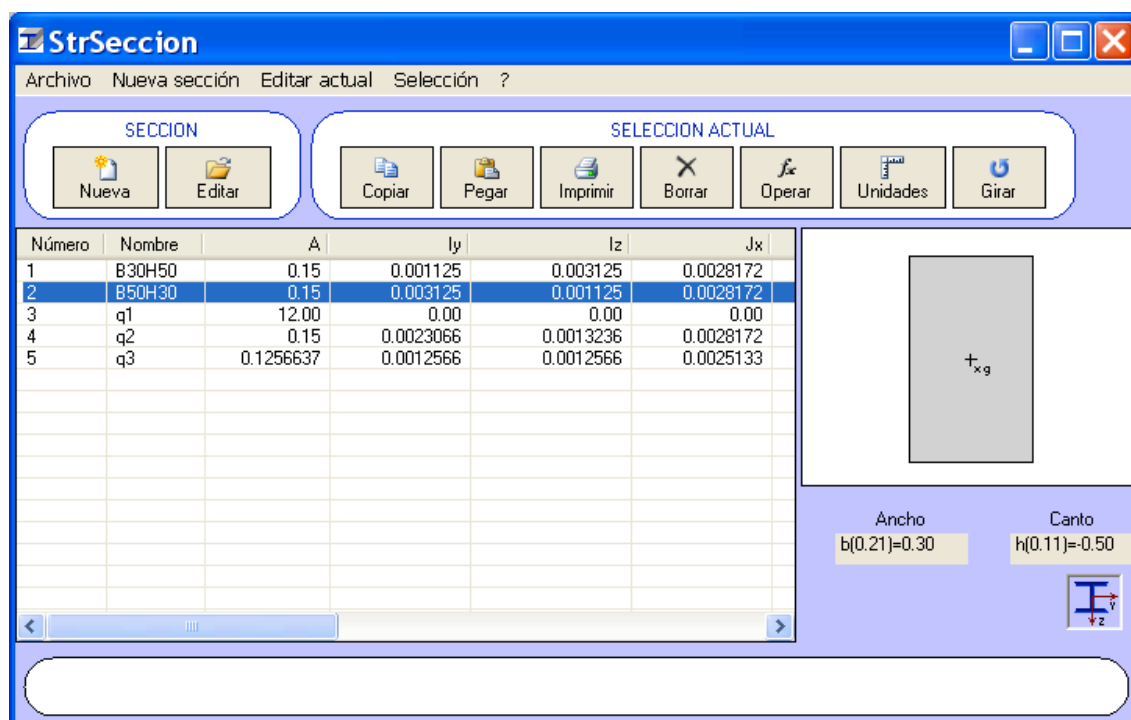
- Area A
- Inercia respecto y local Iy
- Inercia respecto z local Iz
- Inercia torsional Jx

Aunque en función de las características de la estructura no se necesitarán todas. Así por ejemplo en una estructura articulada sólo se necesitará el área de la sección.

A cada sección se le puede asignar un nombre, para facilitar su identificación.

STR utiliza el módulo *StrSeccion* para introducir y calcular las propiedades de las secciones en función de su geometría.

Para acceder a *StrSeccion* podemos pulsar el menú *Datos-Propiedades de secciones* o bien pulsar el botón  **SECCIONES** de la barra de herramientas lateral.



Debe leer el **manual de StrSeccion** para definir, editar o eliminar secciones. Dicho manual es un documento independiente de este documento.

El modulo de secciones permite las siguientes opciones:

- Copiar las secciones seleccionadas
- Pegar las secciones copiadas
- Borrar las secciones seleccionadas
- Imprimir un listado de las secciones seleccionadas
- Añadir secciones
- Editar secciones
- Definir una sección por su geometría.
- Cambiar de unidades las secciones seleccionadas.

En caso de que se defina por contornos, se pueden definir tantos contornos como se desee. Los contornos pueden ser poligonales o circulares.

Si una propiedad es cero la barra no será capaz de aguantar los esfuerzos asociados a esa propiedad.

Así tendremos que en una barra, si:

- $A=0$ $N=0$
- $I_y=0$ $M_y=0$ $Q_z=0$
- $I_z=0$ $M_z=0$ $Q_y=0$
- $J=0$ $T=0$

Esta característica es útil en ocasiones para simular rótulas y liberar grados de libertad aunque facilita que la estructura llegue a ser mecanismo.

Propiedades mecánicas principales de las secciones:

AREA

Superficie ocupada por la sección.

Dimensiones: L^2 siendo L la unidad de longitud.

Indispensable en barras resistiendo axiles.

INERCIA (I_y):

Inercia respecto del eje y local que pasa por el centro de gravedad de la sección.

Dimensiones: L^4 siendo L la unidad de longitud.

Indispensable en barras resistiendo flectores respecto el eje y local.

INERCIA (I_z):

Inercia respecto del eje z local.

Dimensiones: L^4 siendo L la unidad de longitud.

Indispensable en barras resistiendo flectores respecto el eje z local.

INERCIA TORSIONAL (J_x):

Inercia torsional respecto del eje x local.

Dimensiones: L^4 siendo L la unidad de longitud.

Indispensable en barras resistiendo Torsiones.

DEFINICION DE MATERIALES

Para definir materiales pulsaremos lo botón de materiales  **MATERIALES** o bien el menú *Datos-Propiedades de Materiales*, o bien desde la pantalla de definición de secciones, pulsando en el menú de materiales.

Se pueden definir tantos materiales como se desee. Los materiales se pueden asignar directamente a las secciones o bien a las barras. En caso de definirse en ambos sitios, tiene prioridad el material asignado a la sección.

La pantalla de definición de materiales permite crear nuevos materiales, editar los existentes o borrar.

Materiales

Unidades | Nuevo | Editar | Borrar | Importar | Exportar | Calculadora | Cerrar

Número	Nombre	E(kN/m²)	ρ(kN/m³)	μ	α	G(kN/m²)	Tipo	f(compresión)	f(tracción)
1	S275JR	210000000	76,93	0,3	1,2E-05	80769231	Acero	275000	275000
2	HA-25	32035250	24,5	0,2	1E-05	13348021	Hormigón	25000	0

Debe leer el manual de *StrSecciones* para una información detallada acerca de la definición de materiales.

Las unidades empleadas deben ser coherentes con las utilizadas en el resto de la estructura.

Las propiedades mecánicas a definir en los materiales para el cálculo matricial:

MÓDULO DE ELASTICIDAD O DE YOUNG (E)

Coeficiente de proporcionalidad entre deformaciones y tensiones en la ley de Hook.

Unidades: (F / L^2).

En general para los aceros $E = 2.1E6 \text{ kp/cm}^2 = 2.1E7 \text{ t/m}^2 = 2.06E8 \text{ kN/m}^2$

En hormigones el valor depende de la edad y tipo de hormigón y de la velocidad de aplicación de las cargas. Suele variar entre 2E5 y 4E5 kp/cm².

MÓDULO DE POISSON (Mu)

(Adimensional)

Indispensable en estructuras con esfuerzos torsores.

En aceros el valor oscila entre 0.25 y 0.30.

En hormigones el valor oscila entre 0.15 y 2.2.

DENSIDAD (Ro)

Densidad del material: Peso / Volumen (F/L^3)

Se usa para el cálculo automático del peso propio de la estructura en caso de que se requiera.

En hormigón el valor depende del tipo de áridos, granulometría, dosificación,...

Un valor usual en hormigón armado es 2.5 T/m^3

En acero un valor usual es 7.87 T/m^3

COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA

Usado en caso de que existan incrementos de temperatura.

En aceros es $1.2E-5 \text{ m/m}^\circ\text{C}$

MODULO DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL (G)

Unidades: (F / L^2).

Función de μ y de E , aunque se puede modificar manualmente para evitar que en algunas barras se tenga en cuenta la deformación por cortante.

En aceros es de $8.1E5 \text{ kp/cm}^2$

Las propiedades de las secciones y de los materiales también pueden ser introducidas directamente en el archivo ASCII de la estructura.

Las unidades deberán estar referidas a las indicadas en la pantalla de preferencias de la estructura actual. STR no realiza cambios de unidades.

Librería de materiales

Se pueden almacenar los materiales de uso frecuente en una librería que puede ser usada desde cualquier archivo de STR.

- Editar el archivo MATERIAL.LIB
- Escribir los valores correspondientes a las propiedades del material
- Guardar el archivo

El archivo MATERIAL.LIB está escrito en ASCII, por lo que puede ser editado con la mayoría de los procesadores de texto.

En el archivo MATERIAL.LIB se tomará el punto como separador decimal y no se indicará separador de miles.

Hay que tener en cuenta que el material guardado en la librería estará referenciado a unas unidades concretas, y por tanto no deberá ser usado en estructuras que empleen otras unidades.

DEFINICIÓN DE NUDOS

Los nudos representan los extremos de las barras de la estructura. Cada nudo tendrá unas coordenadas respecto de los ejes globales, en las unidades indicadas en la pantalla de preferencias.

La ubicación de los ejes globales no influye en los resultados del cálculo, por lo que los situaremos en la posición en la que sea más sencilla obtener las coordenadas de los nudos.

La introducción de coordenadas de nudos se puede realizar de diversas maneras:

1.- INTRODUCCION DE NUDOS GRAFICAMENTE

1. Adaptar la malla a nuestras necesidades (fijar el plano y espaciamiento).
2. Presionar el botón NUDOS en la parte izquierda de la pantalla.
3. Introducir los nudos alineándolos a la malla.

Tengamos la vista que tengamos, siempre existe un plano de trabajo, sobre el que se desplaza el puntero del ratón. Sobre dicho plano se generará cualquier nudo.

El plano de trabajo puede ser cualquier plano principal, paralelo a XY, XZ o YZ.

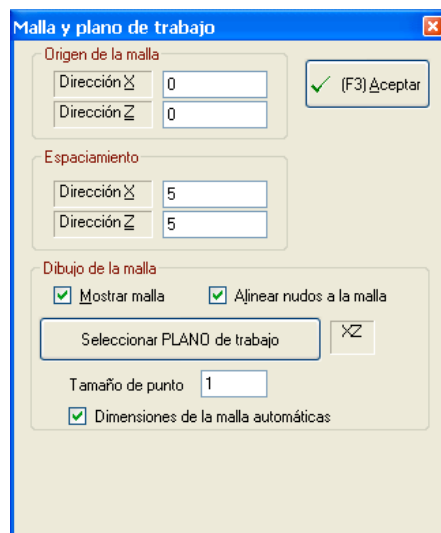
En la parte superior de la pantalla visualizamos el plano de trabajo y las coordenadas donde está situado el ratón dentro del plano de trabajo.

X=	6.9419	Y=	0.00	Z=	-9.7186	Plano	XZ	▼
----	--------	----	------	----	---------	-------	----	---

(Estos datos muestran que el plano de trabajo es el plano XZ con coordenada Y=0)

La malla es una plantilla de puntos que permite ajustar los nudos, de manera que sea más fácil crear el nudo en la coordenada adecuada.

Se accede a la malla desde la opción *Definición de malla* una vez que estamos en introducción de nudos tras seleccionar el botón  **NUDOS**. También se puede acceder a la malla desde el menú *Ver-Definición de malla*.



La imagen muestra una ventana de configuración titulada "Malla y plano de trabajo".

- Origen de la malla:** Campos para "Dirección X" (valor 0) y "Dirección Z" (valor 0). Un botón "Aceptar (F3)" con un icono de checkmark.
- Espaciamiento:** Campos para "Dirección X" (valor 5) y "Dirección Z" (valor 5).
- Dibujo de la malla:** Opciones de configuración.
 - ☒ **Mostrar malla**
 - ☒ **Alinear nudos a la malla**
 - Botón "Seleccionar PLANO de trabajo" con un menú desplegable que muestra "XZ".
 - Campo "Tamaño de punto" con el valor 1.
 - ☒ **Dimensiones de la malla automáticas**

2.- INTRODUCCION DE NUDOS NUMÉRICAMENTE

1. Pulsar menú DATOS - COORDENADAS NUDOS
2. Introducir o modificar las coordenadas deseadas
3. Pulsar GRABAR para que los cambios tengan efecto

Definición de datos

Nuevo Editar Borrar Copiar lista 8 Cerrar

Nodos Barras

Nudo	X	Y	Z
1	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	-5.00
3	10.00	0.00	-5.00
4	10.00	0.00	0.00
5	15.00	0.00	0.00
6	15.00	0.00	-5.00
7	25.00	0.00	-5.00
8	25.00	0.00	0.00

Nudo X Y Z Grabar

5 15 0 0

3.- INTRODUCCION DE NUDOS DESDE ARCHIVO ASCII

Se introducen las coordenadas separadas por espacios o tabuladores en el apartado correspondiente. Ejemplo:

```
* NODES
>      NODE      X      Y      Z
      1          0      0      0
      2          0      0     -5
      3         10      0     -5
      4         10      0      0
      5         15      0      0
      6         15      0     -5
      7         25      0     -5
      8         25      0      0
```

4.- INTRODUCCION DE NUDOS DESDE GENERACION AUTOMÁTICA

(Ver el apartado Generación automática de nudos y barras)

5.- INTRODUCCION DE NUDOS CON LA FUNCIÓN COPIAR

(Ver el apartado Copiar y pegar nudos y barras)

RENUMERACION DE NUDOS

La numeración de los nudos influye en el sentido en que las barras quedan orientadas, ya que el eje x local de las barras queda orientado del nudo de menor numeración al nudo de mayor numeración.

Además de la orientación de las barras, una buena numeración influye decisivamente en el tiempo de cálculo, ya que puede variar el tamaño de la matriz de rigidez global. El tiempo de cálculo será menor cuanto menor sea el máximo de valor de Nudo final-Nudo inicial en cada barra.

Existe la opción de cambiar la numeración entre dos nudos, utilizando el menú Datos Nudos Intercambiar numeración.

El programa renumera automáticamente todos los nudos de la estructura utilizando la opción Datos Nudos -. Renumerar. Colocando los nudos de forma óptima para el cálculo en las estructuras más usuales.

La numeración de los nudos siempre va desde el uno al nº total de nudos. Al borrar un nudo intermedio, el resto de los nudos se renumera automáticamente.

Es posible borrar nudos concretos por su número o borrar todos los nudos seleccionados en el menú Datos Borrar Nudos. Si hay nudos seleccionados, borra la selección actual, sino pide que se seleccionen con el ratón los nudos a borrar.

BORRADO DE NUDOS

Se pueden borrar nudos de las siguientes maneras:

1. Menú *Datos-Borrar Nudos-Seleccionados*: Borra los nudos de la selección actual.
2. Menú *Datos-Borrar Nudos-Por número*: El usuario debe introducir el nº de los nudos a borrar.
3. Menú *Datos-Borrar Nudos-Graficamente*: El usuario hace click sobre los nudos a borrar.
4. Lista de coordenadas de nudos, botón *Borrar*: Borra el nudo seleccionado en la lista.
5. Modificando el archivo ASCII. (Sólo usuarios avanzados, ya que debe controlar la renumeración de nudos y el borrado de elementos vinculados al nudo).

Al borrar un nudo desde el programa, se borran todos los elementos asociados a dicho nudo: Cargas, apoyos y barras.

Al borrar un nudo desde el programa, el resto de nudos se renumera de manera que no haya huecos en la numeración.

DEFINICIÓN DE BARRAS

La definición de barras se puede realizar de las siguientes maneras:

1.- INTRODUCCION DE BARRAS GRAFICAMENTE

1. Presionar el botón BARRAS.
2. Asignar material y sección en las casillas de la izquierda de la pantalla
3. Introducir las barras pinchando sobre el primer nudo y luego sobre el segundo nudo.

2.- INTRODUCCION DE BARRAS NUMERICAMENTE

1. Pulsar menú *DATOS - CONEXION BARRAS*
2. Introducir o modificar las propiedades de cada barra.
3. Pulsar GRABAR para que los cambios tengan efecto

3.- INTRODUCCION DE BARRAS DESDE ARCHIVO ASCII

Se introducen los datos separados por espacios o tabuladores en el apartado correspondiente.
Ejemplo:

```
* MEMBERS
> MEMBER  FROM  TO  SECTION  MATERIAL  PIN  INCL  TRIB_WIDTH  NAME
      1      1    2         1         1     0      0         -
      2      2    3         1         1     3      0         -
      3      3    4         1         1     0      0         -
```

4.- INTRODUCCION DE NUDOS DESDE GENERACION AUTOMÁTICA

(Ver el apartado **Generación automática de nudos y barras**)

5.- INTRODUCCION DE NUDOS CON LA FUNCIÓN COPIAR

(Ver el apartado **Copiar y pegar nudos y barras**)

DATOS ASOCIADOS A LAS BARRAS

La barra queda definida principalmente por:

- Número de barra
- Nudo dorsal
- Nudo frontal
- Sección
- Material

Adicionalmente podemos indicar:

- Nombre (puede ser alfanumérico).
- Rótulas
- Tipo
- Nombre
- Ancho tributario
- Giro de los ejes locales sobre x

El nº de barras siempre va desde el uno hasta el nº total de barras. Al borrar una barra intermedia, las barras cuya numeración esté por encima se renumeran automáticamente.

Debido a que la numeración de barras cambia frecuentemente, ya que debe ser correlativa y al borrar una barra se renumeran todas las posteriores, se recomienda el uso del nombre para poder hacer una referencia fija a una barra.

El nombre puede ser alfanumérico. El nombre se puede exportar como referencia en el armado automático.

El tipo permite identificar elementos para su posterior armado. En el caso de armado automático de pilares es necesario que las barras sean de dicho tipo. Se puede asignar el tipo a una selección de barras mediante el menú Datos-Barras-Asignar tipo de elemento.

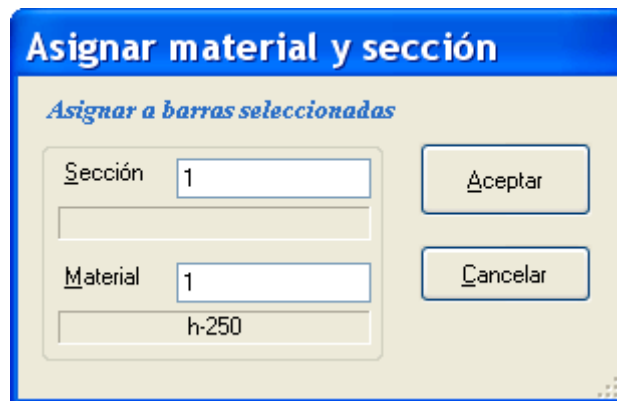
Se puede asignar a cada barra un beta de pandeo en cada sentido que se tendrá en cuenta para el armado automático de pilares mediante el método simplificado para el cálculo de soportes aislados de la norma EHE.

Se puede asignar el número de sección y el número de material a una selección de barras mediante el menú Datos-Barras-Asignar material y sección.

ASIGNAR MATERIAL Y SECCIÓN A LAS BARRAS

La asignación de sección y de material para cada barra se puede realizar de las siguientes formas:

- Cuando se introducen barras gráficamente escribiendo el nº de material y el nº de sección en la casilla de texto que aparece en la izquierda de la pantalla.
- Cuando se introducen barras numéricamente escribiendo el nº de material y sección de cada barra en las casillas correspondientes que aparecen a la izquierda de la pantalla.
- Haciendo una selección y pulsando el menú *Datos – Barras seleccionadas - Asignar Material y Sección*



- Desde el archivo ASCII de datos

BORRADO DE BARRAS

Se pueden borrar barras de las siguientes maneras:

1. Menú *Datos-Borrar barras-Seleccionadas*: Borra las barras de la selección actual.
2. Menú *Datos-Borrar barras-Por número*: El usuario debe introducir el nº de las barras.
3. Lista de propiedades de barras, botón *Borrar*: Borra la barra seleccionada en la lista.
4. Modificando el archivo ASCII. (Sólo usuarios avanzados, ya que debe controlar la reenumeración y borrado de elementos asociados a la barra).

Al borrar una barra desde el programa, se borran todos los elementos asociados a dicha barra: Acciones en barra.

Al borrar una barra desde el programa, el resto de barras se reenumera de manera que no haya huecos.

DEFINICIÓN DE APOYOS

Los tipos de condiciones de contorno que se pueden introducir en STR son:

- Apoyos fijos
- Apoyos elásticos
- Apoyos con desplazamiento fijo

Las condiciones de contorno se pueden introducir en cualquier grado de libertad de la estructura.

Para la introducción de los apoyos, se debe seguir el siguiente proceso:

1. Presionar el menú *DATOS - APOYOS*
2. Pinchar sobre el tipo de apoyo a introducir
3. Pinchar sobre el nudo sobre el que se desea introducir el apoyo

En caso de que se desee introducir un apoyo distinto a los representados por defecto, en la lista de apoyos presionar el botón *OTRO* y posteriormente pinchar sobre el nudo a apoyar. Aparecerá la pantalla de introducción de apoyos:

Nudo: 3

Movimientos fijados	Apoyos elásticos	Desplazamiento fijo
☒ X	☐ X	☐ X
☒ Y	☐ Y	☐ Y
☐ Z	☒ Z (6000 T/m)	☐ Z
☒ Giro X	☐ Giro X	☐ Giro X
☐ Giro Y	☐ Giro Y	☐ Giro Y
☒ Giro Z	☐ Giro Z	☐ Giro Z

Direcciones de los EJES GLOBALES

Los desplazamientos impuestos afectarán a cada estado de carga

Sobre esta pantalla se pueden introducir o editar los valores de las condiciones de contorno para cada nudo.

Se puede introducir el mismo apoyo sobre una selección de nudos:

1. Seleccionar los nudos
2. Presionar el menú *DATOS - APOYOS*
3. Pinchar sobre el botón *SELECCION* bajo los tipos de apoyo
4. Introducir las características del apoyo en la pantalla de introducción de apoyos.

Al introducir apoyos con **desplazamiento fijo**, hay que tener en cuenta que el desplazamiento fijo queda asignado en cada estado de cargas, por lo que al hacer combinaciones se suma el

efecto de cada estado, quedando repetido el desplazamiento. Para evitar esto se recomienda utilizar un único estado de cargas cuando se quiera utilizar la opción de desplazamiento fijo.

DEFINICIÓN DE CARGAS

Para la introducción de cargas se sigue el siguiente proceso:

- Definición de los ESTADOS de carga
- Introducción de CARGAS en cada estado
- Definición de ENVOLVENTES de ESTADOS en caso de que las haya
- Definición de COMBINACIONES en caso de que las haya
- Definición de ENVOLVENTES de COMBINACIONES en caso de que las haya

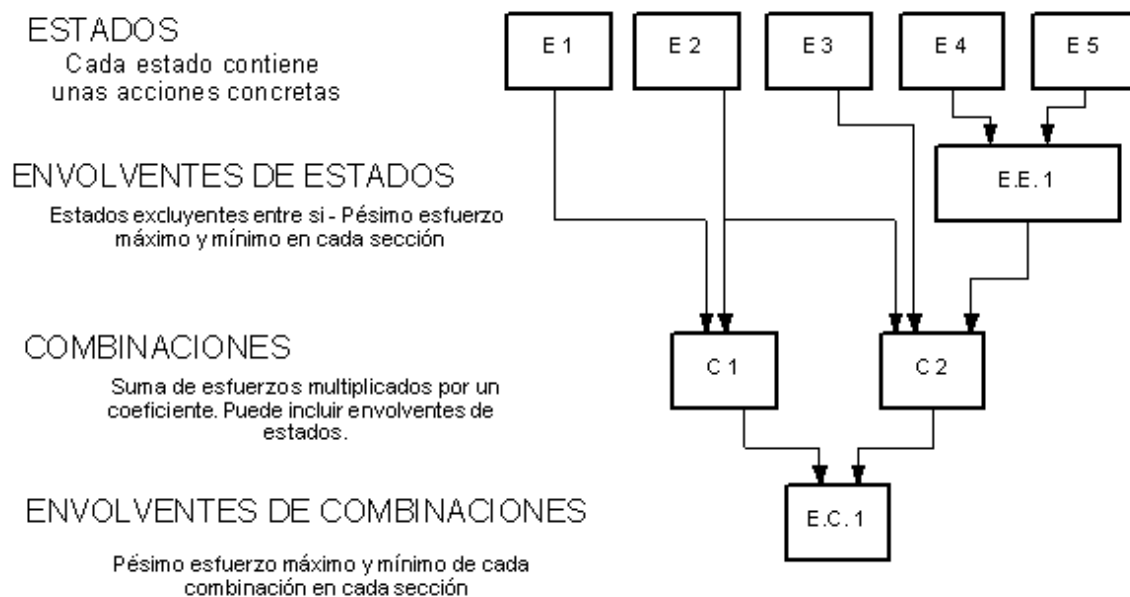
Esta representación de las cargas permite analizar por separado cada estado, o ver el conjunto analizando las envolventes y combinaciones, lo que permite una visión bastante clara del comportamiento de la estructura.

Los ESTADOS que se incluyen en cada ENVOLVENTE de estados son definidos por el usuario.

Los ESTADOS y las ENVOLVENTES de estados que se incluyen en cada COMBINACIÓN, así como los coeficientes por los que quedan multiplicados son definidos por el usuario.

Todas las cargas se definen dentro de un estado.

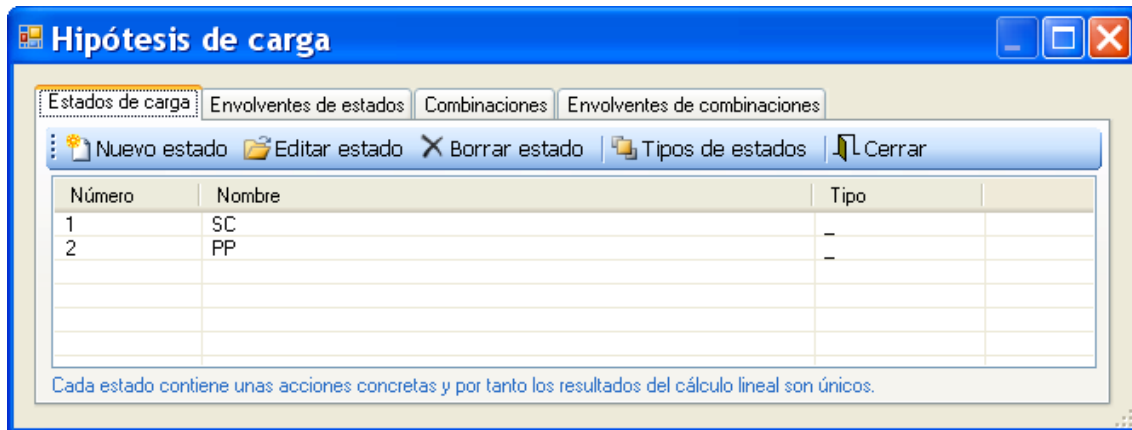
Ejemplo de esquema de definición de las acciones es el siguiente:



DEFINICION DE ESTADOS DE CARGA

Pasos a seguir:

1. Presionar el menú: *DATOS – HIPOTESIS DE CARGA*.
2. Pulsar la opción de *Nuevo estado*



Los estados también pueden definirse directamente desde un archivo ASCII

El número de estados de una estructura influye en el tiempo de cálculo.

BORRAR ESTADOS DE CARGA

Para borrar un estado de cargas completo, con todas sus cargas:

1. Situar como actual el estado a borrar.
2. Pulsar el botón -Cargas- y -Borrar-
3. Confirmar el borrado del estado.

Al borrar un estado, se borrarán todas las acciones que contiene y desaparecerá de las envolventes y combinaciones en las que se encontraba.

DEFINICION DE CARGAS DENTRO DE UN DETERMINADO ESTADO

Todas las cargas deben definirse dentro de un ESTADO de cargas.

Los tipos de carga que se pueden introducir son:

- Cargas en nudos (puntuales y momentos)
- Cargas puntuales en barras
- Cargas repartidas uniformemente en parte o toda la barra
- Cargas repartidas triangularmente en parte o toda la barra
- Cargas repartidas trapecialmente en parte o toda la barra
- Pretensado
- Incrementos de temperatura
- Peso Propio Automáticamente
- Cargas superficiales

Para introducir cargas en un estado, éste debe estar seleccionado como actual en la barra superior:



La introducción de cargas móviles requiere la definición de varios estados de carga de los cuales se hace luego la envolvente, por lo que no se pueden asociar a un solo estado.

INTRODUCCION DE CARGAS EN NUDOS

Las cargas en nudos son introducidas en la dirección de los ejes globales

El proceso para la introducción de cargas en nudos es el siguiente:

1. Presionar el menú *DATOS - CARGAS - CARGAS EN NUDOS*.
2. Seleccionar la dirección **GLOBAL** de la carga en los botones de la izq. de la pantalla
3. Pinchar sobre el nudo a cargar.
4. Introducir el valor de la carga.
5. Pulsar *Aceptar*; la carga ha sido introducida.



Las cargas en nudos también pueden ser introducidas directamente desde el archivo ASCII de la estructura.

Para introducir cargas a una selección de nudos:

1. Presionar el menú *DATOS - CARGAS - CARGAS EN NUDOS*.
2. Seleccionar la dirección **GLOBAL** de la carga en los botones de la zona izq. de la pantalla.
3. Pulsar el botón *Selección* en la zona izq. de la pantalla.
4. Introducir el valor de la carga.
5. Pulsar *Aceptar*; la carga ha sido introducida.

INTRODUCCION DE CARGAS EN BARRAS

Las cargas en barras que pueden ser introducidas son:

- Cargas puntuales
- Cargas repartidas sobre parte o toda la barra
- Cargas trapeciales sobre parte o toda la barra
- Cargas triangulares sobre parte o toda la barra
- Cargas originadas por incrementos de temperatura
- Cargas equivalentes de pretensado
- Cargas superficiales

El proceso para la introducción de cargas en barras es:

1. Situar en el estado donde se desea introducir las cargas
2. Presionar el menú *DATOS - CARGAS - CARGAS EN BARRAS*
3. Seleccionar el tipo de carga
4. Introducir los valores y la dirección de la carga
5. Introducir el nº de barra (o barras con una selección) a cargar
6. Pulsar Añadir Cargas.

Las cargas en barras también pueden introducirse directamente en el archivo ASCII de la estructura.

Se puede introducir la misma carga a una selección de barras para ahorrar tiempo de introducción de datos.

CARGAS SUPERFICIALES

Las cargas superficiales son en realidad cargas lineales resultantes de la multiplicación del valor de la carga por el ancho tributario de la barra.

El ancho tributario es asignado a cada una de las barras mediante el menú *Datos-Barras-Selección de barras-Asignar ancho tributario*. Si existe una selección se asignará el ancho a todas las barras que la componen.

En estructuras con gran número de barras, esta forma de introducir la carga es más eficaz de cara a realizar comprobaciones de datos o posteriores modificaciones.

ENVOLVENTES DE ESTADOS

Las Envolventes de Estados representan la peor situación que puede darse en cada sección eligiendo entre varios estados que pueden ser excluyentes o no excluyentes.

Envolventes de estados EXCLUYENTES:

Esto permite la introducción de cargas móviles y de cargas que no pueden darse al mismo tiempo, tales como diferentes direcciones de viento.

En cada punto de la estructura la solución viene dada por la del estado que produzca el máximo valor positivo y la del estado que produzca el mínimo valor negativo de un determinado esfuerzo o movimiento.

Envolventes de estados NO EXCLUYENTES:

Los valores de cada punto se calcularán sumando los estados de la envolvente que hagan pésimo el resultado positivo y el resultado negativo. Por ejemplo, para el cálculo del momento positivo de un punto se sumarán sólo los estados de la envolvente que tengan en ese punto momento positivo.

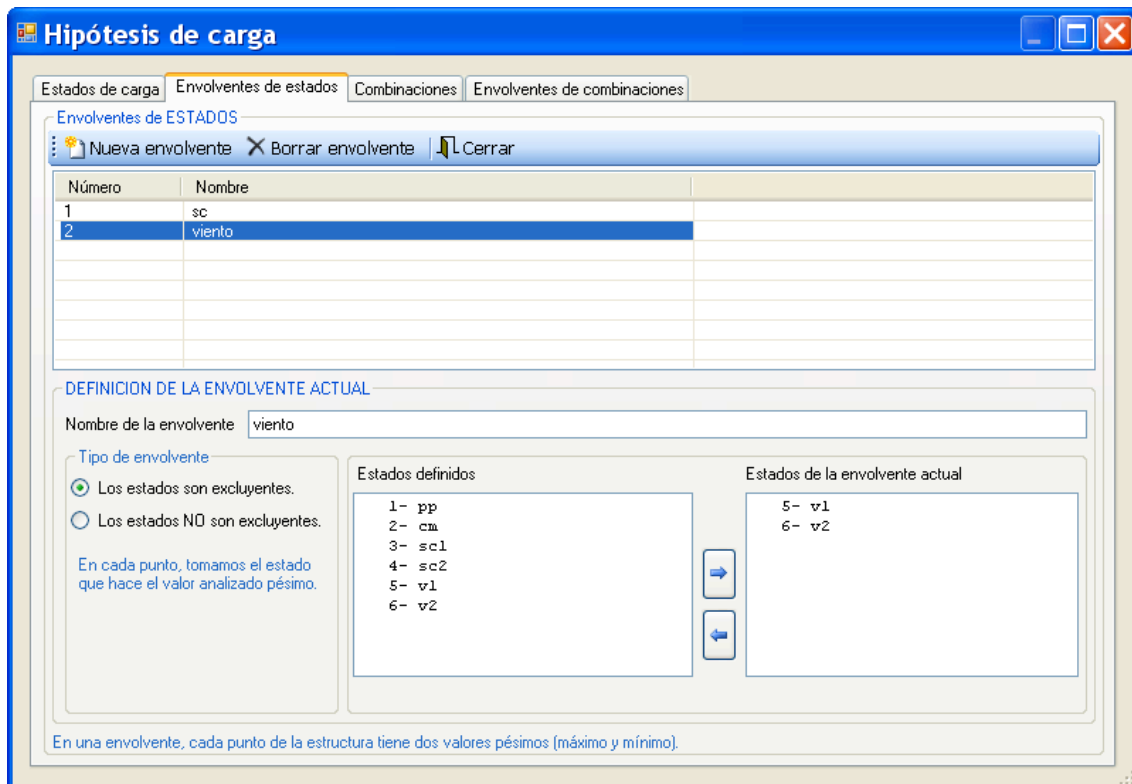
Es especialmente útil para tener en cuenta la alternancia de sobrecargas.

Por lo tanto para cada punto obtenemos dos soluciones que marcan el margen de valores máximos y mínimos.

Para cada punto de la estructura se pueden tener en cuenta diferentes estados, según sea el esfuerzo que se está analizando.

Para la introducción de una envolvente de estados:

1. Presionar el *menú DATOS – HIPOTESIS DE CARGA - ENVOLVENTE DE ESTADOS*
2. Aparecerá la pantalla de envolventes de estados
3. Presionar el botón NUEVA ENVOLVENTE
Escribir el nombre de la envolvente
Marcar si se trata de estados excluyentes o no excluyentes.
4. Arrastrar con el ratón los estados que se desea incluir en la envolvente
5. Presionar OK



Hipótesis de carga

Estados de carga | **Envoltentes de estados** | Combinaciones | Envoltentes de combinaciones

Envoltentes de ESTADOS

Nueva envoltente X Borrar envoltente L Cerrar

Número	Nombre
1	sc
2	viento

DEFINICION DE LA ENVOLVENTE ACTUAL

Nombre de la envoltente: viento

Tipo de envoltente

☒ Los estados son excluyentes.
☐ Los estados NO son excluyentes.

En cada punto, tomamos el estado que hace el valor analizado pésimo.

Estados definidos

1- pp
2- cm
3- sc1
4- sc2
5- v1
6- v2

Estados de la envoltente actual

5- v1
6- v2

En una envoltente, cada punto de la estructura tiene dos valores pésimos (máximo y mínimo).

Ejemplos del efecto de las envoltentes de estados excluyentes:

Ej1:

Estado 1: Viento del Norte

Estado 2: Viento del Sur

Envoltente Estados 1: Viento : Incluye estados 1 y 2

Podemos considerar que la Env.Est. Viento se comporta como otro Estado que incluye en cada sección el estado 1 ó 2 según cual sea más desfavorable.

Ej2:

Estado 1: Carga móvil en el centro del vano

Estado 2: Carga móvil en el apoyo

Estado 3: Carga móvil a 4m del apoyo

Envoltente Estados 1: Carga móvil : Incluye estados 1, 2 y 3

Podemos considerar que la Env. Est. Carga móvil se comporta como otro Estado que incluye en cada sección el estado 1 ó 2 ó 3 según cual sea más desfavorable.

Ejemplos del efecto de las envoltentes de estados no excluyentes:

Ej3:

Estado 1: Sobrecarga en bandas impares de un forjado

Estado 2: Sobrecarga en bandas pares del forjado

Env. Estados: Incluye los estados 1 y 2 y se marcan como no excluyentes.

En cada sección de la estructura se tomará: Nada ó 1 ó 2 ó 1+2 según cual sea más desfavorable.

COMBINACIONES

Se usan para poder combinar estados y establecer las distintas hipótesis de carga.

Una envolvente de estados es tratada como si fuera un estado más, e incluyéndola no tenemos que incluir los estados que engloba.

El hecho de poder establecer combinaciones permite un cálculo más claro de la estructura, ya que así podemos introducir por separado las distintas cargas y analizarlas independientemente o bien formando un conjunto, además de poder utilizar un mismo estado de cargas en diferentes hipótesis con distintos coeficientes de mayoración.

Los diferentes estados incluidos (o envolventes de estados) pueden ser multiplicados por un coeficiente para permitir establecer las hipótesis que se presentan en las normas.

Para la introducción de una combinación:

1. Presionar el menú *DATOS – HIPOTESIS DE CARGA - COMBINACIONES*
2. Aparecerá la pantalla de combinaciones
3. Presionar el botón **NUEVA COMBINACIÓN**
4. Escribir el nombre de la combinación
5. Arrastrar con el ratón los estados que se desea incluir en la combinación
6. Introducir el coeficiente de mayoración del estado de carga
7. Arrastrar con el ratón las envolventes de estados que se desea incluir en la combinación
8. Introducir el coeficiente de mayoración de la envolvente
9. Presionar OK

Hipótesis de carga

Estados de carga | Envolventes de estados | **Combinaciones** | Envolventes de combinaciones

Definición de COMBINACIONES

Nueva combinación X Borrar combinación L Cerrar

Número	Nombre	Tipo
1	ELU1	

Datos de la COMBINACION ACTUAL

Nombre: ELU1 Tipo: ☐ Cálculo de 2º orden ☐ Dimensionamiento de pilares

Estados definidos

- 1- pp
- 2- cm
- 3- sc1
- 4- sc2
- 5- v1
- 6- v2

Estados incluidos en la Combinación actual

Número	Nombre	Determinante	Coef.May...	Chi	Coef.Combinación
1	pp		1.35	1	1.35
2	cm		1.35	1	1.35
3	sc1		1.4	1	1.4

Envolventes de estados definidas

- 1- sc
- 2- viento

Envolventes de estados incluidos en la Combinación actual

Número	Nombre	Determinante	Coef.May...	Chi	Coef.Combinación

Ejemplo de combinación:

Estado 1: Carga móvil en el centro del vano

Estado 2: Carga móvil en el apoyo

Estado 3: Carga móvil a 4m del apoyo

Estado 4: Peso propio

Envolvente Estados 1: Carga Móvil : Incluye estados 1, 2 y 3

Combinación 1: Hipot . I: $1.3 * \text{Peso Propio} + 1.6 * \text{Carga Móvil}$

Combinación 2: Hipot .II: $1.1 * \text{Peso Propio} + 1.8 * \text{Carga Móvil}$

ENVOLVENTES DE COMBINACIONES

Representan el valor más desfavorable en cada sección de un conjunto de combinaciones.

Aunque puede haber varias, normalmente sólo se definirá una englobando a todas las combinaciones definidas.

Para la introducción de una envolvente de combinaciones:

1. Presionar el menú DATOS - CARGAS - ENVOLVENTE DE COMBINACIONES
2. Aparecerá la pantalla de envolventes de combinaciones
3. Presionar el botón NUEVA ENVOLVENTE
4. Escribir el nombre de la envolvente
5. Arrastrar con el ratón las combinaciones que se desea incluir en la envolvente
6. Presionar OK

Ejemplo de envolvente de combinaciones:

Estado 1: Carga móvil en el centro del vano

Estado 2: Carga móvil en el apoyo

Estado 3: Carga móvil a 4m del apoyo

Estado 4: Peso propio

Envolvente Estados 1: Carga Móvil : Incluye estados 1, 2 y 3

Combinación 1: Hipot . I: $1.3 * \text{Peso Propio} + 1.6 * \text{Carga Móvil}$

Combinación 2: Hipot . II: $1.1 * \text{Peso Propio} + 1.8 * \text{Carga Móvil}$

Envolvente de Combinaciones 1: Incluye las combinaciones 1 y 2

CÁLCULO

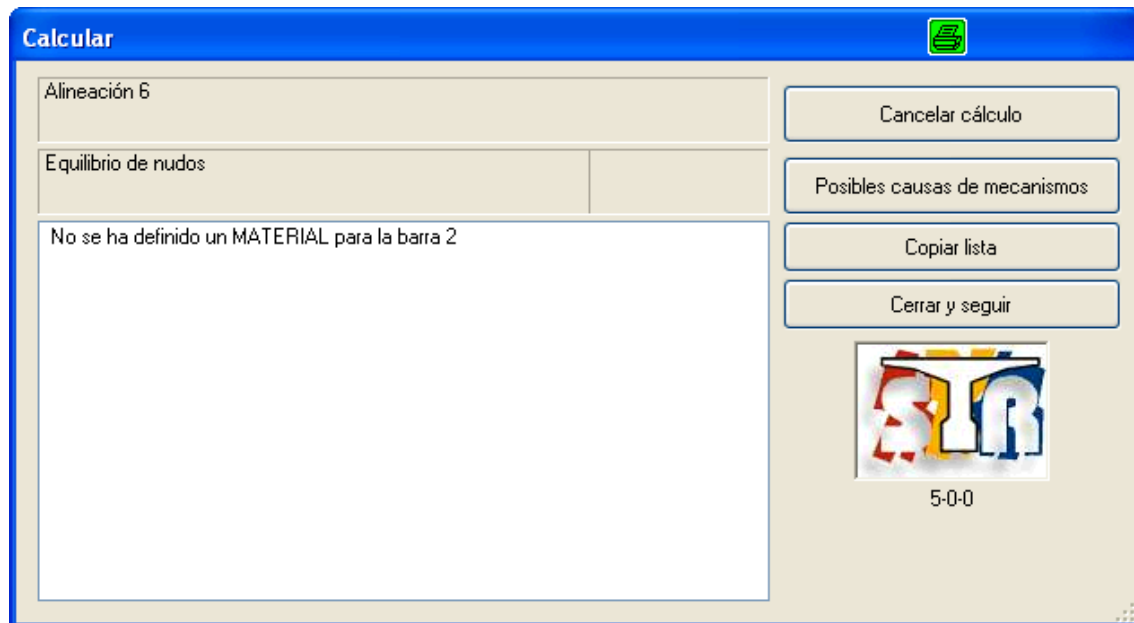
En la pantalla de *Preferencias* (menú *Cálculo-Preferencias*) podemos:

- Definir los grados de libertad de la estructura para efectuar el cálculo.
- Indicar si se tendrá en cuenta la deformación por cortante en la formación de la matriz de rigidez

CÁLCULO ELÁSTICO LINEAL

Tras modelizar la estructura y las acciones, para calcular pulsamos el menú *Archivo-Calcular-Cálculo elástico lineal* o bien el botón  **CALCULAR** de la barra lateral.

Aparece una pantalla que nos indica el proceso que se está realizando. En caso de que exista algún problema que impida el cálculo, el proceso se detendrá indicando la causa del problema.



Una vez calculada la estructura, para modificar datos que afecten al cálculo, será necesario terminar el cálculo, pulsando el botón correspondiente en la barra de tareas lateral.

CÁLCULO DE 2º ORDEN (P-Delta)

Para calcular una estructura pulsamos el menú *Archivo-Calcular-Cálculo de 2º orden*.

En caso de que exista algún problema que impida el cálculo, el proceso se detendrá indicando la causa del problema.

CÁLCULO DE LÍNEAS DE INFLUENCIA

Para calcular una estructura pulsamos el menú *Archivo-Calculas-Cálculo de líneas de influencia*.

DEFINICIÓN

Sea un esfuerzo o desplazamiento F (axil ,cortante ,flector ,torsor , U_x , U_y , U_z)

Sea una determinada sección S de la estructura.

Sea X cualquier punto de la estructura.

El valor de la línea de influencia en el punto X representa el valor de F en la sección S cuando una carga unidad se sitúa en la sección X .

UTILIDAD

Permite conocer la situación pésima en que se deben situar las cargas para dimensionar una determinada sección X .

PROCESO

El cálculo de la línea de influencia no depende de una situación de cargas. Depende únicamente de la geometría de la estructura y sus propiedades.

- Modelizar la estructura.
- Seleccionar las barras por las que puede circular la carga unidad.
- Presionar el menú *-Calcular-Líneas de influencia-*
- Introducir el tipo de esfuerzo en la parte izda. de la pantalla.
- Introducir la barra y sección a estudiar en la parte izda. de la pantalla.
- Presionar el botón Calcular L.I.- en la parte izda. de la pantalla.

TIEMPOS DE CÁLCULO

A la hora de valorar un programa en cuanto a rendimiento, se valora el tiempo que se emplea en 3 procesos:

- TIEMPO DE INTRODUCCIÓN Y EDICIÓN DE DATOS
- TIEMPO DE CÁLCULO
- TIEMPO DE OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El tiempo empleado en introducción de datos y obtención de resultados dependen del diseño del programa, de las herramientas incluidas y en parte de la habilidad del usuario. Son generalmente las tareas que más tiempo consumen y además es tiempo en el que el usuario está presente.

El tiempo empleado en cálculo sí que puede ser medido con precisión y no requiere la interacción con el usuario. En STR se ha optimizado el cálculo para disminuir en lo posible el tiempo de espera y se han añadido funciones que informan de la etapa en que se encuentra el cálculo para conocimiento del usuario.

El tiempo de cálculo aumenta con el incremento de:

- Grados de libertad de la estructura (N° de nudos $\cdot$ GDL de cada nudo)
- Número de estados
- Número de cargas en barras
- Número de puntos de interpolación en el cálculo de líneas de influencia (ver configuración).

Para el cálculo y dibujo de diagramas los principales factores son:

- El número de barras de la estructura.
- El número de cargas en barras.
- El número de puntos de interpolación (ver configuración).

OPTIMIZACIONES DE STR DEL TIEMPO DE RESOLUCIÓN DE SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES

La matriz de rigidez $[K]$ es simétrica, por tanto, no es necesario almacenarla completamente en memoria.

Por otra parte, la matriz de rigidez contiene gran cantidad de elementos nulos. Si el número de elementos nulos queda agrupado, podemos reducir enormemente el tamaño de $[K]$ a un ancho que denominamos *semiancho de banda*.

Para que el semiancho de banda sea mínimo, se requiere que sea mínimo el mayor valor de la resta ($N_j - N_i$), siendo N_j el número de nudo frontal y N_i el número de nudo dorsal para cada una de las barras. Por tanto, la numeración de nudos de manera adecuada influye mucho en el tiempo de cálculo. STR permite renumerar nudos de manera automática para optimizar el tiempo de cálculo.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Es importante conocer que:

- Los **esfuerzos** vienen referidos a los **ejes locales** de las barras.
- Los **desplazamientos** vienen referidos a los **ejes globales** de la estructura.

Sólo se podrán acceder a las opciones de impresión de resultados cuando la estructura se encuentra calculada.

Los diagramas que se pueden visualizar son:

- **Esfuerzos** en sistema local: $N_x, Q_y, Q_z, T_x, M_y, M_z$
- **Desplazamientos** en sistema global: X, Y, Z
- **Tensiones** en sistema local en los puntos de mayor y menor coordenadas -y- y -z-.

Se pueden obtener los esfuerzos concomitantes de los máximos, mínimos y máximos en valor absoluto de otros esfuerzos. Los concomitantes se utilizarán únicamente en caso de que haya envolventes.

Los esfuerzos concomitantes se calculan en cada sección. Esto implica que los diagramas de esfuerzos concomitantes no tienen porque ser continuos, ya que pueden variar los estados que aportan carga de una sección a otra de una misma barra.

Es posible obtener los resultados de una selección de elementos, limitando la cantidad de información a procesar.

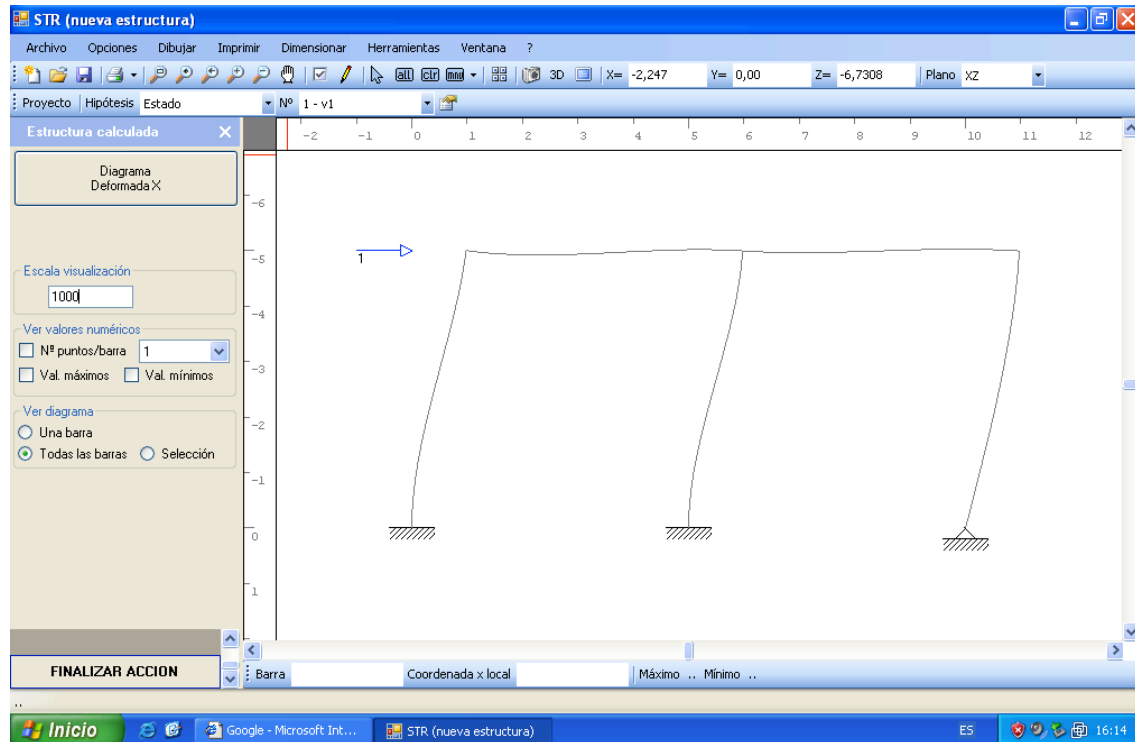
STR permite obtener datos y resultados:

- Gráficos en pantalla
- Gráficos en impresora o DXF
- Datos y resultados numéricos (hoja de cálculo, pantalla y/o impresora)

DATOS Y RESULTADOS GRÁFICOS EN PANTALLA

Una vez calculada la estructura, podemos obtener los diagramas de esfuerzos y desplazamientos siguiendo el siguiente proceso:

- Seleccione la hipótesis de carga en la barra de tareas
- Seleccione el tipo de diagrama. Visualizará la ley correspondiente.
- Seleccione los parámetros de escala, visualización de valores, vista 3d, selección de barras... que considere oportunos para optimizar la vista.



En la barra lateral podemos fijar las siguientes opciones:

- Escala de visualización
- Nº de puntos en los que se colocará el valor del diagrama en cada barra (o selección)
- Visualización de los valores máximo y/o mínima del diagrama en cada barra (o selección). El nº de puntos que aparece en el desplegable depende del nº de puntos de interpolación definido en la configuración
- Visualización del diagrama en todas las barras, una barra o la selección actual

Al pulsar con el botón derecho sobre una barra, veremos la barra con su diagrama en una pantalla independiente. Al movernos a lo largo de dicha barra podemos ver el valor del diagrama en la sección donde se sitúe el puntero. Esta opción permite averiguar rápidamente el valor del esfuerzo o desplazamiento en una determinada sección.

Para visualizar los valores del diagrama, activar la casilla Valores del diagrama en la izquierda de la pantalla.

Se puede elegir cualquier punto de vista usando la opción Vista 3D. Existen algunos puntos de vista por defecto (Planta, alzado, isométrica, caballera,...).

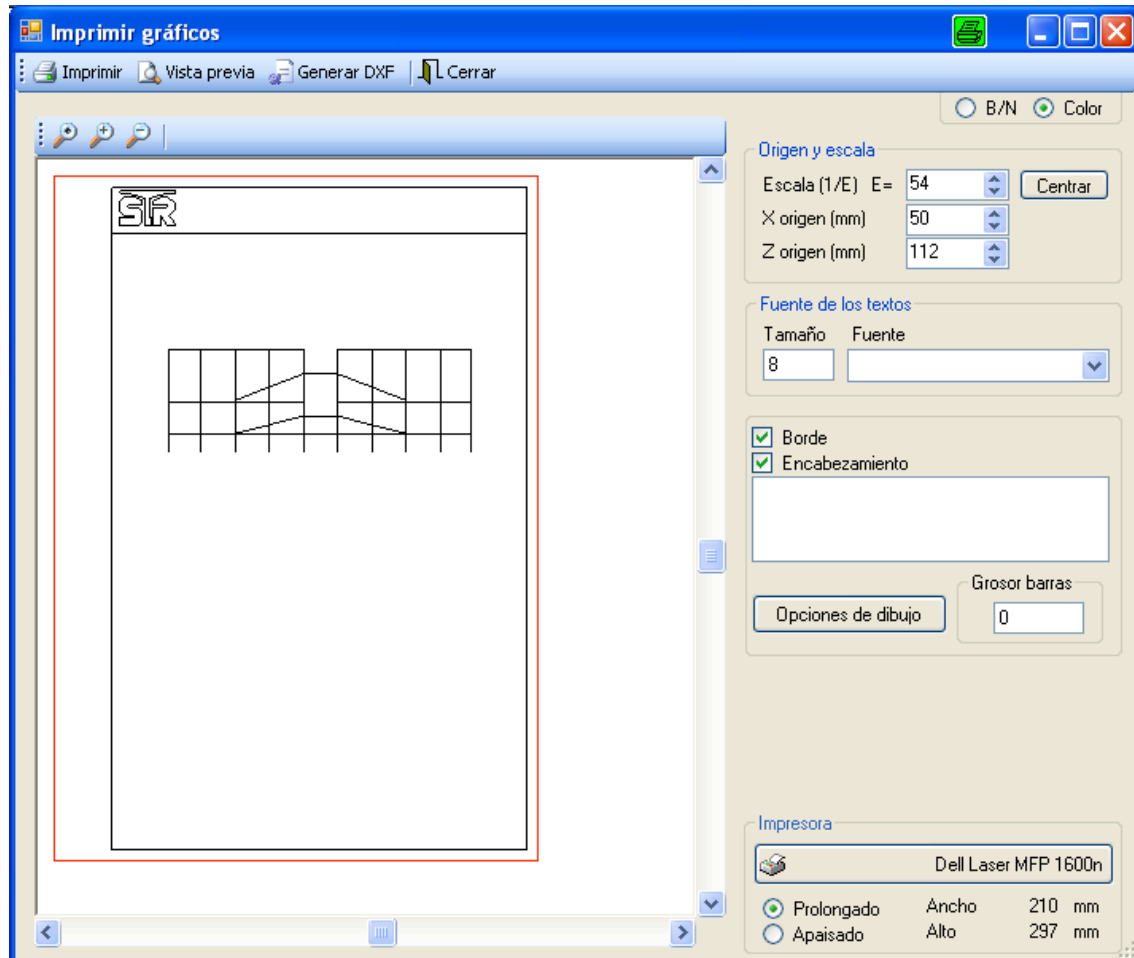
Podemos limitar el espacio de visualización si no se quiere visualizar el total de la estructura.

Podemos definir los elementos a visualizar, mediante la ventana de *Opciones de dibujo* (Menú *Dibujar-Opciones de dibujo*)

DATOS Y RESULTADOS GRÁFICOS EN IMPRESORA

Para obtener los resultados gráficos impresos, seleccione la imagen adecuada en pantalla, según las indicaciones del apartado anterior y:

- Vaya al menú *Imprimir-Gráficos y dibujos*.
- Configure las opciones de impresión que considere adecuadas, así como la ubicación y escala de impresión
- Pulse el botón de *imprimir*.



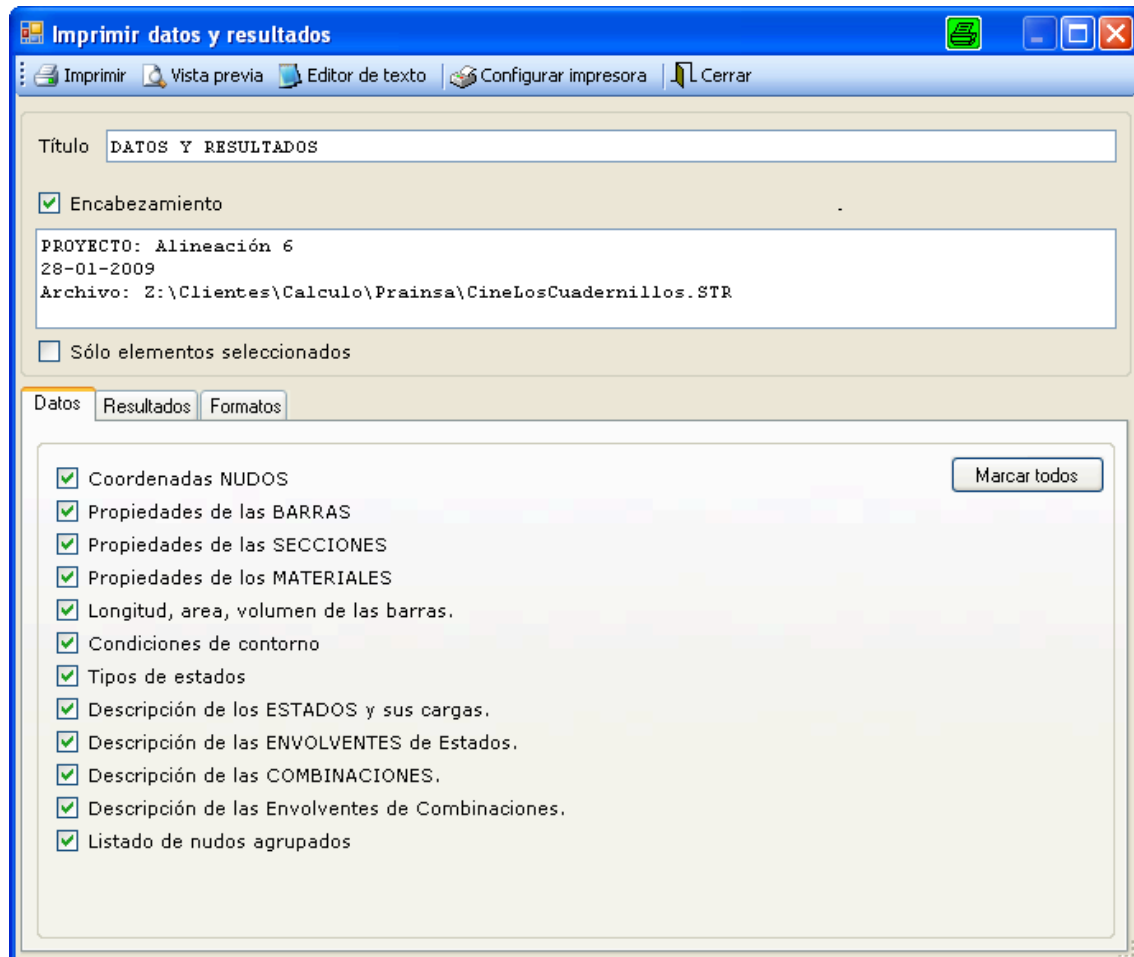
Antes de imprimir visualizamos en pantalla una vista preliminar con el tamaño de papel seleccionado que permite ajustar los parámetros de escala y centrado adecuadamente.

En caso de que se imprima fuera de los márgenes del papel, es posible que la impresión completa sea cancelada o se obtengan impresiones canceladas parcialmente.

DATOS Y RESULTADOS NUMÉRICOS

Para obtener tablas de datos y resultados numéricos, tanto en pantalla como en impresora:

- Presionar el menú *Imprimir-Datos y resultados numéricos*.
- Seleccione los elementos que desee imprimir.
- Pulse Imprimir, Vista previa, Editor de texto según el formato que desee obtener.



Para limitar y concretar los elementos cuyos datos o resultados deseamos obtener, podemos pulsar el check de *Sólo elementos seleccionados*.

Al imprimir diagramas a lo largo de las barras, podemos especificar el nº de puntos en que dividiremos cada barra.

Para determinadas funciones, es posible obtener los resultados en modo de tabla que se puede copiar y pegar directamente a una hoja de cálculo. Dicha opción se activa con:

- Coordenadas de los nudos
- Propiedades de las barras



MEMORIA DE CÁLCULO STR CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

El presente apartado del manual debe incluirse en las memorias de cálculo de estructuras realizadas con *Str Cálculo de Estructuras*.

VERSION: 5

FABRICANTE: STR Ingeniería SL

Se prohíbe el uso del programa profesionalmente sin el correspondiente contrato de licencia.

Si el proyectista, la empresa licenciada, o el cliente de sus proyectos, no está de acuerdo alguna de las cláusulas de uso de licencia, no debería usar el programa profesionalmente.

Es fundamental que el programa sea utilizado exclusivamente por arquitectos o ingenieros adecuadamente formados en cálculo de estructuras. El programa es una simple ayuda que no pretende reemplazar el criterio y buen juicio del proyectista.

EL PRESENTE APARTADO INCLUYE:

- HIPÓTESIS BÁSICAS DE CÁLCULO
- PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTOS Y ESFUERZOS
- MÉTODO DE LA RIGIDEZ
- CÁLCULO DE ESTADOS
- CÁLCULO DE ENVOLVENTES DE ESTADOS EXCLUYENTES
- CÁLCULO DE ENVOLVENTES DE ESTADOS NO EXCLUYENTES
- CÁLCULO DE COMBINACIONES
- CÁLCULO DE ENVOLVENTES DE COMBINACIONES
- CÁLCULO DE ESFUERZOS CONCOMITANTES
- CÁLCULO DE TENSIONES

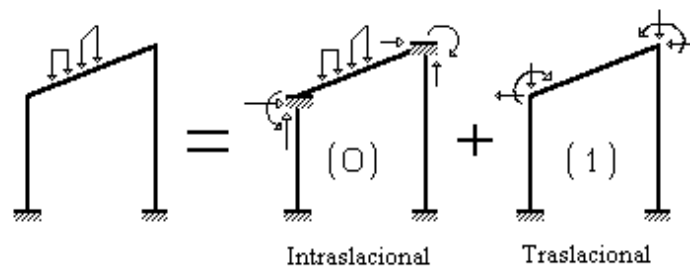
HIPÓTESIS BÁSICAS DE CÁLCULO

- Movimientos pequeños en comparación con el tamaño de la estructura.
- Materiales con comportamiento elástico - lineal.
- Superposición de estados.
- Equilibrio de fuerzas.
- Compatibilidad de movimientos.
- Solución única para cada estado de cargas.

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE MOVIMIENTOS Y ESFUERZOS

Se descompone la estructura en:

- **(0) Intraslacional**
 - Todos los movimientos de los nudos están fijados.
 - Incluye todas las cargas en barras.
 - Se puede calcular barra por barra ya que al estar empotradas, no influyen unas sobre otras.
 - Se calcula por la teoría de resistencia de materiales aplicando equilibrio de fuerzas y compatibilidad de deformaciones.
- **(1) Traslacional**
 - Incluye todas las cargas en nudos más las reacciones del intraslacional (0) cambiadas de signo.
 - Al tener sólo cargas en nudos lo resolvemos por el método de la rigidez.
 - Los esfuerzos de la estructura se calculan como la suma de esfuerzos de (0) + (1)



MÉTODO DE LA RIGIDEZ

El método de la rigidez permite calcular los desplazamientos de los nudos y los esfuerzos en extremos de barra.

- **Formación de la matriz de cargas [P]**

Referida al sistema global.

Nº de filas = nº de grados de libertad de la estructura.

Nº de columnas = nº de estados de carga.

Se calculan las cargas equivalentes en los nudos en el sistema global.

Se forma la matriz con los elementos: P_{ij} = Carga en la dirección i en el estado j .

- **Formación de la matriz de rigidez [K]**

Referida al sistema global.

Nº de filas = Nº de grados de libertad de la estructura.

Nº de columnas = Nº de grados de libertad de la estructura. (en realidad al ser simétrica y en banda el nº de columnas a calcular y almacenar disminuye).

El ensamblaje de la matriz de rigidez global se realiza a partir de la matriz de rigidez local de cada barra $[k_b]$, pasándola primero a ejes globales y situándola después en los grados de libertad de los nudos frontal y dorsal de la barra.

- **Introducción de condiciones de contorno. Formación de [Ka]**

Modificamos $[K]$ de forma que se cumplan las condiciones de contorno, obteniendo $[K_a]$.

Si la matriz $[K_a]$ es singular, el sistema no tiene solución y la estructura es un mecanismo. Se indicarán los grados de libertad que deben fijarse para evitar el fallo de la estructura y la formación de dichos mecanismos.

- **Resolución del sistema $[P] = [K_a] \times [D]$**

El sistema de ecuaciones es resuelto por el método de Gauss.

Obtenemos la matriz de desplazamientos $[D]$, referida al sistema de coordenadas global.

D_{ij} es el desplazamiento del grado de libertad i en el estado j

El sistema de ecuaciones es lineal.

- **Cálculo de los esfuerzos en extremos de cada barra**

Pasamos los movimientos a locales, formando $[d_b]$ para cada barra. Multiplicamos los desplazamientos por la matriz de rigidez de la barra en ejes locales, obteniendo los esfuerzos. $[p_b] = [k_b] \times [d_b]$

- **Cálculo de la matriz de reacciones [R]**

Calculamos $[R] = [K] \times [D]$ donde R_{ij} es la reacción en el grado de libertad i en el estado j .

- **Comprobación de equilibrio**

En cada grado de libertad i , la suma de reacción más la resultante de los esfuerzos de las barras en la dirección global i debe de ser cero.

CÁLCULO DE ESTADOS

En cada estado se presenta una situación concreta de cargas que es resuelta por el método la rigidez antes descrito.

Cada estado tiene solución única.

Se pueden definir todos los estados de carga necesarios para reflejar cualquier situación de la estructura.

Los resultados de los estados de carga se pueden operar formando :

- Envolventes de estados
- Combinaciones de estados y de envolventes de estados
- Envolventes de combinaciones

CALCULO DE ENVOLVENTES DE ESTADOS EXCLUYENTES

En una envolvente de estados incluimos varios estados de carga excluyentes entre si.

El valor de la envolvente en una sección es el valor del estado pésimo en dicha sección.

En cada sección se calculan dos valores, uno máximo y otro mínimo.

Se puede utilizar las envolventes para el cálculo de cargas móviles, hipótesis de viento desde distintos frentes, distintos tipos de sobrecargas, ...

CALCULO DE ENVOLVENTES DE ESTADOS NO EXCLUYENTES

En una envolvente de estados incluimos varios estados de carga no excluyentes entre si.

El valor de la envolvente en una sección es el valor de la suma de los estados de la envolvente que lo hacen pésimo.

En cada sección se calculan dos valores, uno máximo y otro mínimo. (Valor pésimo positivo y valor pésimo negativo).

Se puede utilizar las envolventes no excluyentes para el cálculo de efectos de sobrecargas que pueden actuar o no.

CALCULO DE COMBINACIONES

En una combinación incluimos varios estados y/o envolventes de estados aditivas entre si.

En cada combinación se añaden estados y/o envolventes de estados, multiplicadas por un coeficiente.

El valor de un esfuerzo en una combinación en una sección es la suma del valor de cada estado y/o envolvente de estado incluida en la combinación, multiplicados por los coeficientes asignados.

En caso de que se incluyan sólo estados de carga, la combinación tendrá un valor único por sección para cada tipo de esfuerzo o desplazamiento. Si se incluyen envolventes de estados, habrá dos valores, un máximo y un mínimo.

Los coeficientes empleados y los estados incluidos en cada combinación son definidos por el usuario.

CALCULO DE ENVOLVENTES DE COMBINACIONES

La envolventes de combinaciones toma el pésimo valor en cada sección de las combinaciones que contiene.

En cada sección se calcularán dos valores, un máximo y un mínimo.

CALCULO DE ESFUERZOS CONCOMITANTES

Sólo se calculan cuando existen envolventes de estados o de combinaciones.

Se pueden calcular 4 tipos de esfuerzos concomitantes:

- El esfuerzo concomitante E1 del **MÁXIMO** esfuerzo E2 es el esfuerzo E1 calculado a partir de las hipótesis que hacen E2 máximo. En caso de que haya 2 ó más hipótesis que hagan E2 máximo, se toma la que produzca un valor de E1 máximo en valor absoluto. Por ej: Hallar los momentos concomitantes con el máximo axil.
- El esfuerzo concomitante E1 del **MÍNIMO** esfuerzo E2 es el esfuerzo E1 calculado a partir de las hipótesis que hacen E2 mínimo. En caso de que haya 2 ó más hipótesis que hagan E2 mínimo, se toma la que produzca un valor de E1 máximo en valor absoluto. Por ej: Hallar los momentos concomitantes con el mínimo axil.
- El esfuerzo concomitante E1 del **MÁXIMO ABSOLUTO** del esfuerzo E2 es el esfuerzo E1 calculado a partir de las hipótesis que hacen que el valor absoluto de E2 sea máximo. En caso de que haya 2 ó más hipótesis que hagan E2 mínimo, se toma la que produzca un valor de E1 máximo en valor absoluto. Por ej: Hallar los axiles concomitantes con el máximo momento en valor absoluto.
- El esfuerzo concomitante E1 del **MÍNIMO ABSOLUTO** del esfuerzo E2 es el esfuerzo E1 calculado a partir de las hipótesis que hacen que el valor absoluto de E2 sea mínimo. En caso de que haya 2 ó más hipótesis que hagan E2 mínimo, se toma la que produzca un valor de E1 máximo en valor absoluto. En combinaciones este tipo no está disponible.

CALCULO DE TENSIONES

Las tensiones se calculan para una fibra dada, situada en los ejes locales de las barras -y- o -z-, en el extremo de la sección.



Las tensiones se calculan suponiendo que el material es homogéneo y su comportamiento es elástico tanto en tracción como en compresión. Servirá para calcular tensiones en materiales tipo acero. Los resultados no son válidos en hormigón armado.

El cálculo se realiza solamente en las barras cuya sección está definida completamente, incluida su geometría. En una sección donde se definan únicamente las propiedades mecánicas no se calculan las tensiones.

Para el cálculo de tensiones en las fibras extremas del eje -y- local se emplea:

$$T = N / A + M_z \cdot y / I_z$$

Donde:

N = Esfuerzo axial

A = Area de la sección

Mz = Esfuerzo flector respecto del eje -z- local.

y = Distancia de la fibra extrema al centro de gravedad (-y- lleva el signo incluido)

Iz = Inercia de la sección respecto del eje -z- local.

Para el cálculo de tensiones en las fibras extremas del eje -z- local se emplea:

$$T = N / A + M_y \cdot z / I_y$$

Donde el significado de cada término es similar a los de la expresión anterior para el eje correspondiente.

En un estado de cargas dado, las tensiones en una fibra son únicas.

Con las tensiones se aplica lo dicho en los apartados anteriores sobre la obtención de envolventes, combinaciones y envolventes de combinaciones.