

- Buenos días a todos

- **PRESENTACIÓN:** En la tesina que les voy a presentar a continuación, he desarrollado un proceso de investigación en estructuras. Concretamente en vigas de acero armadas de canto variable sometidas a esfuerzo cortante. Bien, qué he pretendido? Nada más y nada menos que encontrar un patrón en el comportamiento de este tipo de estructuras ante la inclusión de las tensiones residuales en los cálculos (más adelante veremos cómo se producen y qué son) para poder realizar un análisis de hasta qué punto tienen influencia estas imperfecciones en este tipo de estructuras y extraer conclusiones válidas para su aplicación en posteriores trabajos.

- **INTRODUCCIÓN:** Es frecuente en ingeniería abordar el diseño de soluciones estructurales a problemas singulares. Como pueden ser estructuras de grandes luces ó grandes esfuerzos locales. Es en estos casos, en que la sollicitación de las secciones transversales de las vigas están sometidas a grandes esfuerzos, cuando se debe recurrir al empleo de vigas armadas puesto que al no encontrarse en el mercado perfiles comerciales capaces de resistir dichos esfuerzos se debe diseñar una solución a medida que cumpla con su cometido. Esta solución aporta también una optimización del material resistente ante la sollicitación.

Las vigas armadas pueden ser convencionales ó híbridas. En el caso de las híbridas, el límite elástico del acero de las alas es superior al empleado en el alma. En esta tesina tan sólo se han empleado vigas armadas convencionales de inercia variable.

- **COMPORTAMIENTO ESTRUCTURA:** En cuanto al comportamiento estructural, este tipo de vigas pueden presentar dos tipos de fallos, el primero por plastificación del alma que se produce cuando la viga es robusta y presenta una gran dificultad de deformación. El segundo por abolladura de alma que se produce cuando las vigas son esbeltas y no ofrecen resistencia ante la deformación transversal. En mi tesina se produce una abolladura del alma.

- **CÁLCULO DE LAS VIGAS ARMADAS DE ACERO DE CANTO VARIABLE:** Este tipo de estructuras se pueden calcular empleando dos métodos, el primera mediante modelos teóricos, en concreto el campo de

tensiones de CARDIFF (se basa en el equilibrio de tensiones) y el Campo girado de esfuerzos de HOGLUND).

**El segundo método de cálculo** es empleando modelos de elementos finitos (los FEM) en los que se deben tener en cuenta **dos puntos importantes**.

El **primero**, se debe incluir una imperfección geométrica inicial para que matemáticamente se pueda resolver el problema. En mi tesina he tomado como geometría inicial el primer modo propio de pandeo empleando un cálculo de autovalores de tipo Buckle utilizando el programa ABAQUS CAE (de hecho toda la tesina se ha llevado a cabo empleando este programa)

El **segundo** es la inclusión de las TENSIONES RESIDUALES. En esta tesina he analizado la influencia que tiene este punto en los resultados de los cálculos.

- **TENSIONES RESIDUALES:** Las tensiones residuales se producen en el acero por diferentes causas. Entre ellas las más importantes en mi caso son la soldadura (proceso de unión mediante temperatura) y en menor medida el oxicorte (proceso de corte de las chapas de acero empleando temperatura y oxidación). En ambos casos el proceso local de calentamiento y enfriamiento del material produce unos desajustes internos de tensiones debidos a la inercia térmica. EL acero se comporta como un material con memoria que va acumulando tensiones causadas por todos los procesos de fabricación a los que se ve sometido.

En esta tesina he trabajado sobre los cálculos empleando 5 distribuciones de tensiones residuales, con sus correspondientes modelos de aplicación en el programa ABAQUS CAE.

- **CÁLCULO EMPLEANDO ABAQUS CAE:** El proceso seguido se ha estructurado de la siguiente forma

1. Elección de las vigas para crear los modelos numéricos, he tomado cuatro vigas que se han utilizado en otros estudios llevados a cabo en el departamento de estructuras de la escuela de caminos.

2. Creación de los modelos numéricos con las geometrías correspondientes. He creado los modelos utilizando empleando la ventana gráfica del programa.

3. Aplicación de las condiciones de contorno. He incluido las condiciones de limitación de giros y desplazamientos correspondientes.

4. Análisis de autovalores de tipo Buckle. He realizado este análisis hasta el tercer modo propio de pandeo y en todos los casos he tomado el primero por ser realista y coherente.

5. Cálculo sin inclusión de tensiones residuales. He llevado a cabo un cálculo inicial sin aplicar ningún tipo de imperfección estructuras.

6. Aplicación de las tensiones residuales. He dividido tanto las alas como el alma en las partes necesarias para aplicar los modelos de tensiones residuales en cada viga. En este caso no es tan simple con el programa, ya que se deben editar los archivos de texto uno por uno incluyendo el número de elemento y manualmente darles la carga añadida correspondiente.

7. Ejecución del cálculo incluidas las tensiones residuales. He realizado el cálculo de todas las vigas con cada modelo de tensiones residuales para extraer los datos de carga y desplazamiento vertical para cuantificar la carga última resistente.

8. Extracción de resultados. Con todos los datos respectivos de todas las vigas y todos los modelos de tensiones residuales he realizado las comparaciones entre ellos para poder extraer las conclusiones de esta tesina.

- **RESULTADOS OBTENIDOS:** A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada distribución de tensiones residuales en cada viga. Comparando el error relativo respecto al cálculo sin incluir ningún tipo de tensión residual. Se puede observar rápidamente que las distribuciones que presentan menor diferencia respecto al cálculo en vacío son la BSK 99 y la de Barth et al.

La que presenta mayor diferencia como es lógico es la ECCS incluyendo el oxicorte ya que estamos introduciendo dos veces tensiones residuales y como he comentado anteriormente, el acero se comporta como un material con memoria de todos los procesos que ha sufrido anteriormente.

- **ANÁLISIS PARAMÉTRICO:** En mi análisis he tomado como factores de estudio la variación del canto ( $\alpha$ ), la relación entre el canto menor-luz ( $\beta$ ) y el error medio de desvío respecto un cálculo sin tensiones residuales de cada distribución.

Los resultados han sido los siguientes:

A mayor variación de canto, mayor es el error relativo de los cálculos teniendo en cuenta las distribuciones de tensiones residuales. Para poder discernir si la realidad da la razón a los cálculos con tensiones residuales o a los cálculos sin ellas se debería llevar a cabo una campaña experimental. No obstante, en ningún caso se supera el 6,8% de variación en dos casos (ECCS con oxicorte y Barth et al.) en el resto de casos no se llega a alcanzar el 5%.

En el caso del parámetro  $\beta$ , la relación no queda muy clara. Los resultados muestran una curva con un máximo en el centro. Es necesario ampliar la muestra de datos para poder sacar mejores conclusiones.

En cuanto a la desviación de las distribuciones de tensiones residuales: como se ha comentado antes, las que menor diferencia presentan son la BSK 99 y la de Barth et al.

**- CONCLUSIONES:**

- El proyectista de vigas de acero armadas de canto variable, debe tener en cuenta que para minimizar el efecto de las tensiones residuales, se debe tener en cuenta que éstas influirán en mayor medida en vigas con una variación de canto muy pronunciada. No obstante, el error en general sigue estando por debajo del 5%

- Así como las imperfecciones geométricas iniciales son imprescindibles para los cálculos no lineales con el método de los Elementos Finitos para poder hallar el equilibrio con deformaciones fuera del plano del alma, las tensiones residuales no suponen a efectos prácticos una mejora en los resultados numéricos obtenidos.

**La mejor posición del ingeniero en el momento de proyectar y calcular una viga armada de canto variable a cortante es intentar que la variación de canto no sea brusca y implementar el perfil de tensiones que más comodidad le suponga, procurando que esté en equilibrio tensional, para cumplir con las indicaciones de la normativa EN1993-1-5, con la tranquilidad de que ésta no va a ser una decisión determinante en los resultados que va a obtener.**

## => TESIS DE ANALISIS NUMÉRICO (FEM)

### VIGAS ANISOTROPAS CANTO VARIABLE

- ① ANISOTROPAS = hecho a medida  $\left\{ \begin{array}{l} \text{formas dimensiones} \\ \text{necesidades de cálculo} \end{array} \right.$   
soldadura
- ② CANTO VARIABLE  $\rightarrow$  optimización geometría a necesidades.  
mayor canto en zonas de mayor ~~momento~~ constante
- ③  $\left\{ \begin{array}{l} \text{convencional} \rightarrow \text{igual límite elástico} \text{ des-} \\ \text{aluma} \\ \text{hibrido} \rightarrow \text{des} > \text{límite elástico} \text{ que} \\ \text{aluma.} \end{array} \right.$
- ④ - Plástico Aluma  $\rightarrow$  la geometría no se deforma factuamente en vigas robustas y se alcanza el límite elástico.  
- Abolladura Aluma.  $\rightarrow$  vigas <sup>paredes</sup> esbeltas, en zonas comprimidas se deforman antes de alcanzar el límite elástico.

### ⑤ Métodos teóricos

CARDIFF Campo de tensiones  $\Rightarrow$

Campo grado Tensiones