

MODELIZACIÓN DE UNIONES SOLDADAS

Prendes Gero, M^a Belén.
Rodríguez Díaz, Miguel Ángel.
González Palacio, Celestino.
Aguado Mori, Almudena.
Departamento de Construcción e Ingeniería de la Fabricación.
Área de Expresión gráfica.
E.U.I.T. de Minas de Mieres.
Reinero García, s/n, 33600 Mieres.
E-mail: belen@mieres.uniovi.es
Tfno.: 34 98 5458018;
Código de Ponencia 730561

1. Resumen

El cálculo de una unión soldada se realiza tradicionalmente en dos dimensiones. La combinación de esfuerzos considerada presenta a lo sumo tres grados de libertad (un esfuerzo cortante, un momento flector y un momento torsor). Lo que se pretende con este trabajo es un estudio del comportamiento de las uniones soldadas en tres dimensiones; presentando seis grados de libertad (esfuerzos, y momentos en tres direcciones ortogonales). Para ello, se procederá a discretizar geoméricamente un conjunto de soldaduras tipo, y modelizar su comportamiento frente a los esfuerzos indicados. Este estudio en tres dimensiones permite la zonificación geométrica de los elementos estructurales en función de los esfuerzos a que se ven sometidos, identificando las zonas más débiles diferenciándolas de las zonas que presentan una mayor resistencia. Todo ello es posible gracias a la utilización de un entorno gráfico Almec 3D que permite la visualización de las zonas de fallo y de los planos de soldadura.

2. Abstract.

Calculation of wedged joints is traditionally made in two dimensions. The combination of the considered strains leads to a maximum number of three freedom degrees (a shear strain, a flector moment and torque). The aim of this paper is a study of the behaviour of wedged joints in three dimensions, with six freedom degrees (strains and moments in three orthogonal directions). In order to achieve this, a set of standard wedged joints will be discretized and their behaviour against the mentioned strains will be modelled. This three dimension study will allow the geometrical division of the structural elements in zones, as a function of the strains they suffer, identifying the weakest zones and establishing their differences with the ones with a higher resistance. This is possible thanks to the use of a graphical environment, ALMEC 3D, that lets the user visualize the failure zones and the wedging planes.

3. Introducción

Las estructuras están formadas por varios perfiles simples, que se unen entre sí para resistir conjuntamente. Esto únicamente se puede lograr si se garantiza que las uniones son capaces de transmitir las fuerzas de unos elementos a otros.

No es necesario insistir sobre la importancia que tienen las uniones, pues es suficiente que falle una cualquiera de ellas, para ocasionar la ruina total o parcial de la estructura. En consecuencia, en un proyecto de estructura metálica, deben estar adecuadamente resueltas todas las costuras.

Hoy en día la construcción soldada es el sistema más utilizado para hacer la mayoría de las conexiones de las estructuras metálicas realizadas en taller, encomendándose a las uniones atornilladas, las construcciones desmontables y los enlaces realizados directamente en obra.

Entre las desventajas de las uniones soldadas frente a las atornilladas se mencionan, generalmente, la dificultad de su inspección y los gastos que origina, así como el posible alabeo de los perfiles si la soldadura no se realiza correctamente y se forman elevadas temperaturas repartidas de forma irregular.

Se utiliza generalmente la *soldadura por arco*, donde se unen dos piezas metálicas al provocar un arco eléctrico entre ellas y un electrodo que constituye el metal de aportación; dando como resultado una serie de ondas estrechas que se superponen unas a otras. En general, el metal de aportación se consigue por fusión del electrodo. El material debe elegirse de manera que la soldadura obtenida corresponda a las mismas características resistentes que el metal base.

Fundamentalmente existen dos tipos de soldadura:

- ✓ Soldadura a tope donde se unen chapas situadas en un mismo plano.
- ✓ Soldaduras de ángulo o de cordones donde se unen chapas en distintos planos. En este caso se clasifican en función de la posición relativa entre el cordón de soldadura y el esfuerzo aplicado, distinguiendo así:
 - *Cordón frontal*. Normal a la dirección de la fuerza.
 - *Cordón lateral*. Paralelo a la dirección de la fuerza.
 - *Cordón oblicuo*. Oblicuo a la dirección de la fuerza.

La Norma UNE 14035 [3] distingue desde el punto de vista de comprobación de la resistencia de las uniones soldadas planas, las uniones soldadas espaciales y las uniones mixtas. Este estudio se centra en uniones soldadas planas de ángulo, donde todos los cordones de soldadura se sitúan en un mismo plano, y más concretamente en la unión entre pilar-dintel de una nave sometida a su peso propio y a una carga vertical en la parte más alta del dintel lo que provocará que la unión se vea sometida a flexión.

Se analizará el comportamiento entre una unión pilar-dintel con la soldadura en la base del dintel (Fig 1 a) y una unión pilar dintel con la soldadura en el lateral del dintel (Fig 1 b).

Antes de ilustrar los resultados obtenidos, describiremos la teoría de uniones que hemos tenido en cuenta para la realización de los análisis.

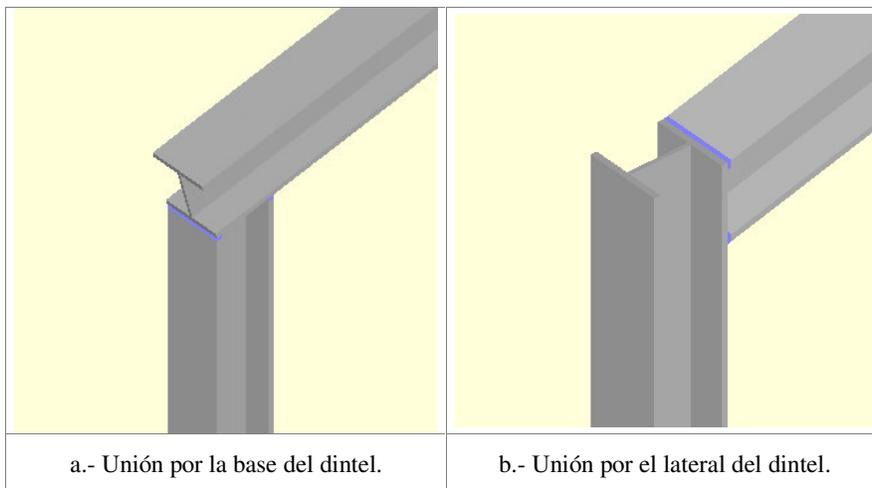


Fig 1 – Tipos de unión pilar-dintel.

4. Teoría clásica de uniones soldadas.

En las soldaduras de ángulo se define la garganta a [3] como la altura del máximo triángulo isósceles, inscrito en la sección transversal de la soldadura, cuyos lados iguales están contenidos en las caras de las dos piezas que se van a unir.

En cuanto a las tensiones que se presentan en una unión de ángulo hay que considerar dos tipos según el plano de referencia considerado, como muestra la Fig 2.

<p><i>Referidas al plano de garganta.</i></p> <p>σ_1^* = tensión normal ponderada que actúa en la sección de garganta.</p> <p>τ_n^* = tensión tangencial ponderada normal a la arista, referida al plano de garganta.</p> <p>τ_a^* = tensión tangencial ponderada paralela a la arista, referida también al plano de garganta.</p>	<p><i>Referidas al plano de una de las caras de la soldadura sobre la que ha sido abatida la sección de garganta.</i></p> <p>n^* = tensión normal ponderada que actúa en el plano de una de las caras de la soldadura.</p> <p>t_n^* = tensión tangencial ponderada normal a la arista contenida en el plano de una de las caras de la soldadura.</p> <p>t_a^* = tensión tangencial ponderada paralela a la arista, contenida en el plano de una de las caras de la soldadura.</p>

Fig 2 – Tipo de tensiones en una unión plana de ángulo.

A partir de las tensiones anteriormente mencionadas y de las relaciones existentes entre ellas (Ec. 1 a), es posible llegar a la condición general de comprobación de una soldadura plana. La Norma UNE 14035 [3] permite una simplificación de los parámetros que intervienen en la condición general de comprobación obteniendo así la ecuación simplificada de comprobación (Ec. 1 b).

a.- Relación entre tensiones.		
$n^* = \frac{(\sigma_I^* - \tau_n^*)}{\sqrt{2}}$	$t_n^* = \frac{(\sigma_I^* + \tau_n^*)}{\sqrt{2}}$	$t_a^* = \tau_a^*$
$\sigma_I^* = \frac{(n^* + t_n^*)}{\sqrt{2}}$	$\tau_n^* = \frac{(n^* - t_n^*)}{\sqrt{2}}$	$\tau_a^* = t_a^*$
b.- Condición simplificada de comprobación.		
$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_I^{*2} + 1.8 \cdot (t_n^{*2} + t_a^{*2})} \leq \sigma_u$		
Donde:	σ_u = Resistencia de cálculo del acero.	
	σ_{co} = Tensión de comparación.	

Ec. 1 – Ecuaciones generales.

4.1.Uniones soldadas planas sometidas a flexión.

Dada la unión entre dos perfiles, si se somete el conjunto a un esfuerzo P aplicado a una distancia d de la unión, se dice que la unión está sometida a flexión. En la Fig 3, se puede observar una unión plana sometida a flexión, donde es posible disponer de cordones frontales, laterales u oblicuos o una combinación de ellos.

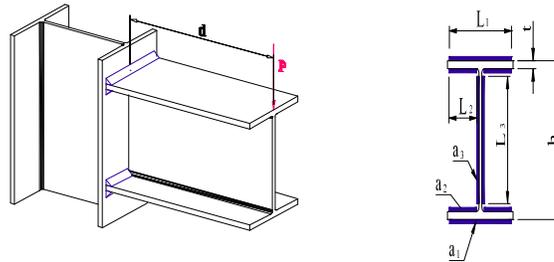


Fig 3 – Uniones soldadas planas sometidas a flexión.

El caso que hemos estudiado, es el de uniones que dispongan de cordones frontales y laterales. En este caso la resistencia de la costura no corresponde a la suma de las resistencias respectivas de cada uno de los cordones, ya que existe una interacción entre cordones frontales y laterales. Las fórmulas utilizadas para el cálculo de la unión son función de las longitudes respectivas de los cordones, como se observa en la Ec. 2.

<i>Uniones soldadas sometidas a flexión.</i>	
Cordones a ₁ (soportan el momento flector).	$\frac{P^* \cdot d}{W} \leq 0.85 \cdot \sigma_u$
Cordones a ₂ (soportan el momento flector, y el esfuerzo cortante).	$\frac{P^* \cdot d}{a_2 \cdot h \cdot L_2} \leq 0.85 \cdot \sigma_u$
Cordones a ₃ (soportan el momento flector y el esfuerzo cortante).	$\sqrt{2.8 \cdot \left(\frac{L_3}{h + a_1}\right)^2 \cdot \sigma_{I,max}^{*2} + 1.8 \cdot \tau_{a,med}^{*2}} \leq \sigma_u$
	$\sigma_{I,max}^* = \frac{P^* \cdot d}{\sqrt{2} \cdot W}$ $\tau_{a,med}^* = \frac{P^*}{2 \cdot a_3 \cdot L_3}$
<p>Donde: W es el módulo resistente de la sección de garganta, abatida sobre el plano de la junta ,de expresión:</p> $W = \frac{2 \cdot a_1 \cdot L_1 \cdot \left(\frac{h}{2} + \frac{a_1}{2}\right)^2 + 4 \cdot a_2 \cdot L_2 \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{a_2}{2}\right)^2 + 2 \cdot a_3 \cdot \frac{L_3^2}{12}}{\frac{h}{2} + a_1}$ <p>σ_u es la resistencia de cálculo del acero. P* es la fuerza ponderada que produce la flexión aplicada a una distancia d de la soldadura (figura 3) Y el resto de las variables son magnitudes dimensionales, ilustradas en la FIGURA 3.</p>	

Ec. 2 – Ecuaciones según la teoría clásica.

5. Cálculo de uniones soldadas; elementos finitos.

Como se observa en la Ec. 2, la teoría clásica se centra en la distribución de tensiones que se produce en la soldadura trabajando en el plano de la soldadura. Con el programa ALMEC desarrollado por el Grupo de Ingeniería del Terreno de la Universidad de Oviedo, se ha estudiado la unión plana en tres dimensiones empleando los elementos finitos.

El modelo empleado ha sido un pórtico a dos aguas con una altura de pilares de 6 m y una luz total de 12 m. Los perfiles tanto para dinteles como para pilares son HEB 100 [2] de acero A42. El pórtico se encuentra sometido a su peso propio y a una carga vertical aplicada en la parte superior del dintel o cumbrera de 0,7 tn [4].

Como se observa en la Fig 4 la deformada del pórtico es simétrica respecto a un plano medio, siendo el plano principal el XZ, la deformada consistirá en un desplazamiento a lo largo del eje Z en sentido descendente y un desplazamiento en el eje X hacia el exterior del pórtico.

Se ha analizado el pórtico indicado anteriormente pero suponiendo dos tipos de unión distintas entre pilar–dintel. En el primer análisis el dintel se une por su parte inferior o base al pilar, mientras que en el segundo se une por su lateral al pilar.

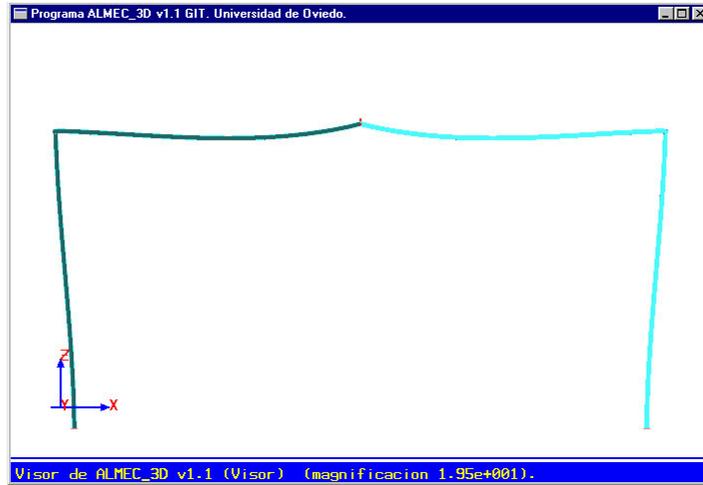
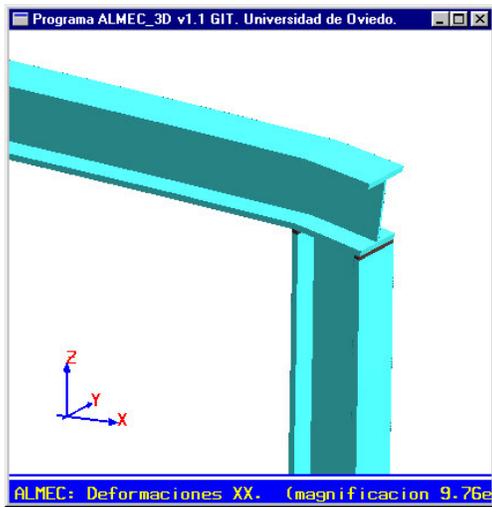
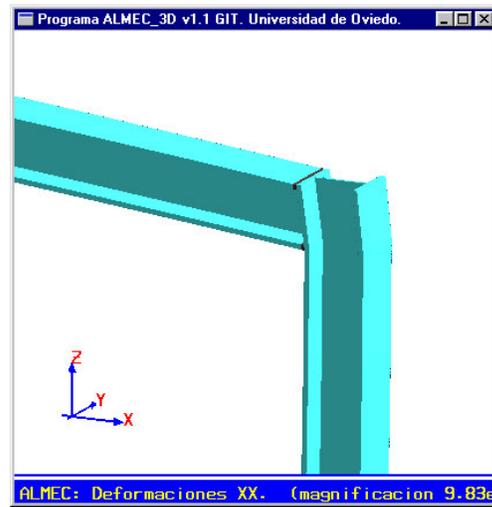


Fig 4 – Deformada de la estructura.

Centrándose en la unión pilar-dintel, la deformada será la reflejada en la Fig 5. En la Fig 5 a se representa la unión realizada por la base del dintel. En este caso el pilar se deforma hacia el exterior del pórtico y el dintel se ve traccionado en su extremo. En el segundo caso (Fig 5 b) la unión se realiza por el lateral del dintel. El pilar se vuelve a deformar hacia el exterior del pórtico, pero se ve sometido a una deformada no lineal como en el caso anterior, ya que en su extremo superior es el dintel el que tracciona al pilar.



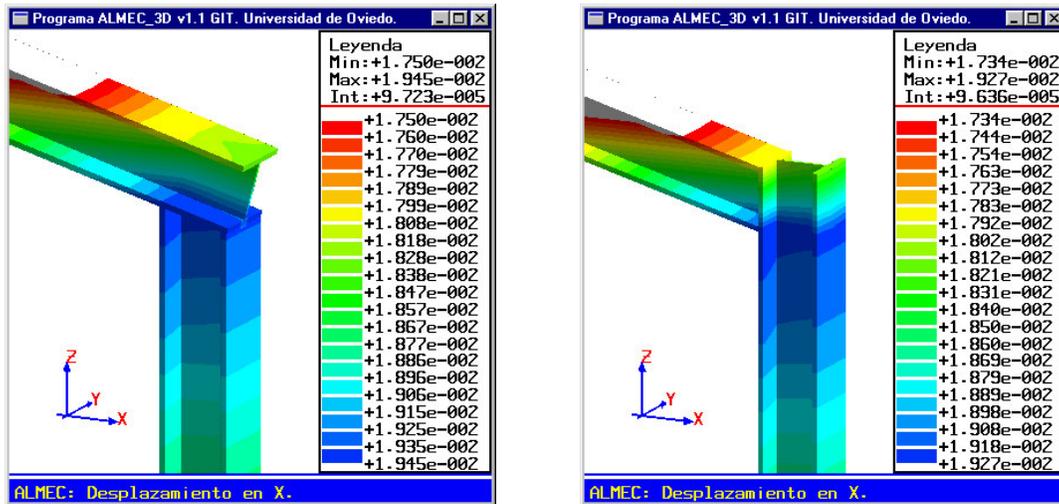
a.- Unión por la base del dintel.



b.- Unión por el lateral del dintel.

Fig 5 – Deformada de la unión pilar-dintel.

Los desplazamientos que se producen en las uniones, presentan distribuciones similares en ambos tipos de uniones. Los desplazamientos en X (Fig 6) son máximos en el extremo superior del pilar disminuyendo progresivamente desde dicho punto hasta la parte alta del dintel y hacia el extremo inferior del pilar. Debido a la continuidad que se refleja en dicha figura, se puede decir, que si la unión está bien hecha, es decir, el material de aporte presenta las mismas características resistentes que los perfiles a unir, el desplazamiento en X es independiente del tipo de unión.

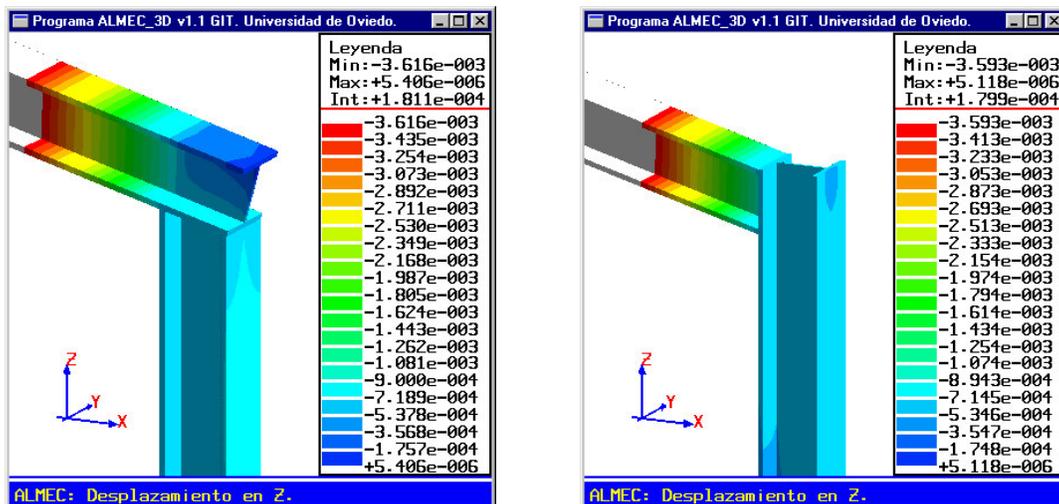


a.- Unión por la base del dintel.

b.- Unión por el lateral del dintel.

Fig 6 – Desplazamiento en X.

Lo mismo que se ha dicho para los desplazamientos en X se puede decir para los desplazamientos en Z, con la única salvedad que en este caso los desplazamientos máximos se producen en la parte superior del dintel y van disminuyendo progresivamente hasta el extremo del pilar, siendo los desplazamientos independientes del plano de unión (Fig 7).

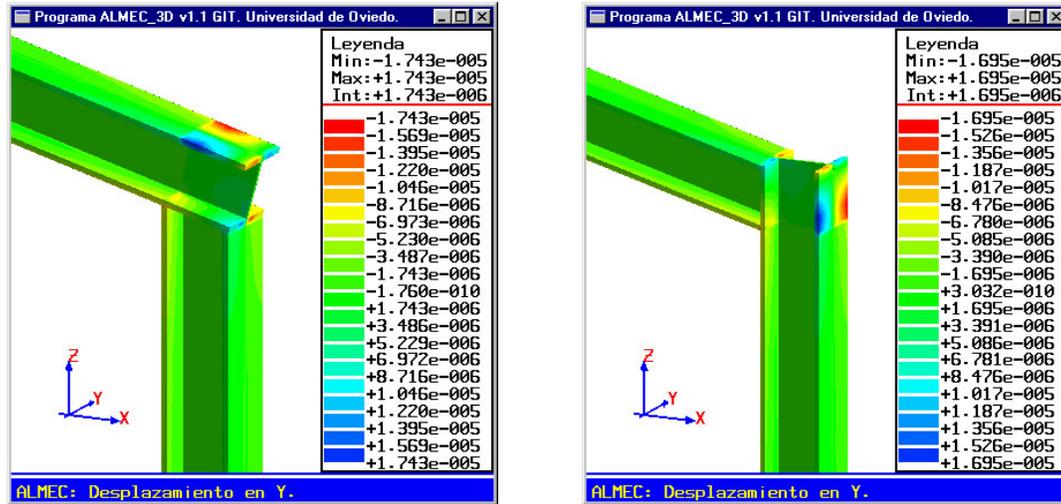


a.- Unión por la base del dintel.

b.- Unión por el lateral del dintel.

Fig 7 – Desplazamiento en Z.

Los desplazamientos en Y, debido a la aplicación de la carga exclusivamente en la dirección Z, no son significativas en la unión pilar-dintel. Pero si se realiza un estudio de forma cualitativa se observa que los desplazamientos son simétricos respecto al plano medio de la figura. El perfil que sufre dicha distribución es el que se prolonga más allá del punto de contacto entre los perfiles que configuran la unión. (Fig 8).

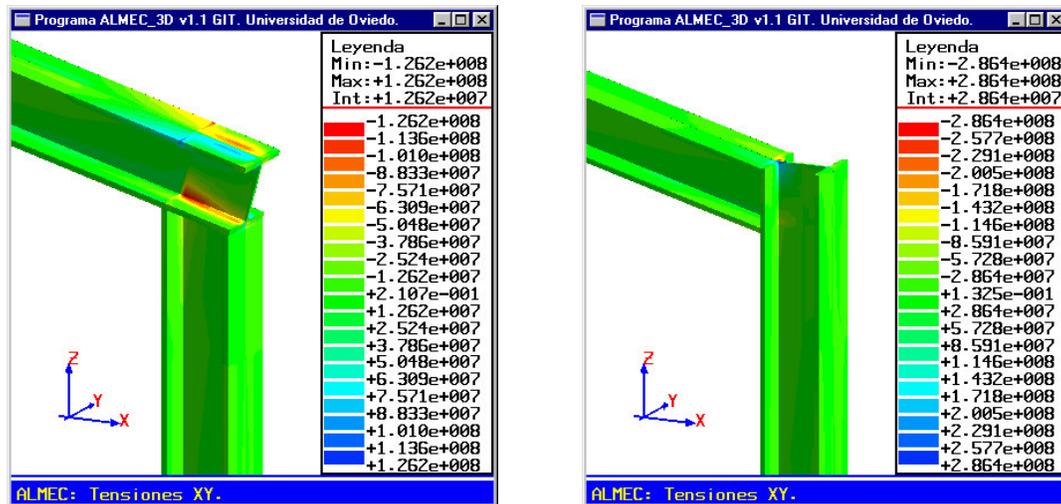


a.- Unión por la base del dintel.

b.- Unión por el lateral del dintel.

Fig 8 – Desplazamiento en Y.

Las tensiones más significativas para este tipo de unión son las cortantes, debido a los efectos que se pueden producir en las zonas cercanas a la soldadura. Las tensiones XY, son simétricas respecto al plano medio de la sección del pilar. En este caso son superiores las tensiones que se producen en la unión realizada por el lateral del dintel, además dichas tensiones se producen en zonas más pequeñas, lo que llega a resultar más perjudicial para la unión. Lo que resulta más significativo es que la distribución de tensiones mencionada, no se realiza sobre el plano de unión, sino sobre el pilar que se prolonga más allá del punto de contacto entre los perfiles que configuran la unión. (Fig 9).

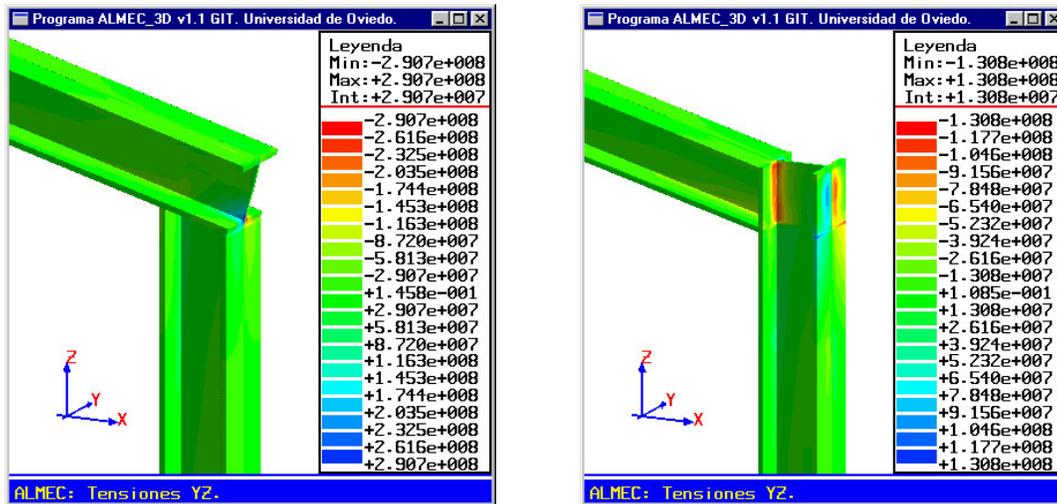


a.- Unión por la base del dintel.

b.- Unión por el lateral del dintel.

Fig 9 – Tensión XY.

Lo mismo que se ha dicho para las tensiones XY, se puede decir para las tensiones YZ, invirtiendo las conclusiones, es decir, en este caso las tensiones máximas se encuentran en una pequeña zona en la base del dintel. (Fig 10).

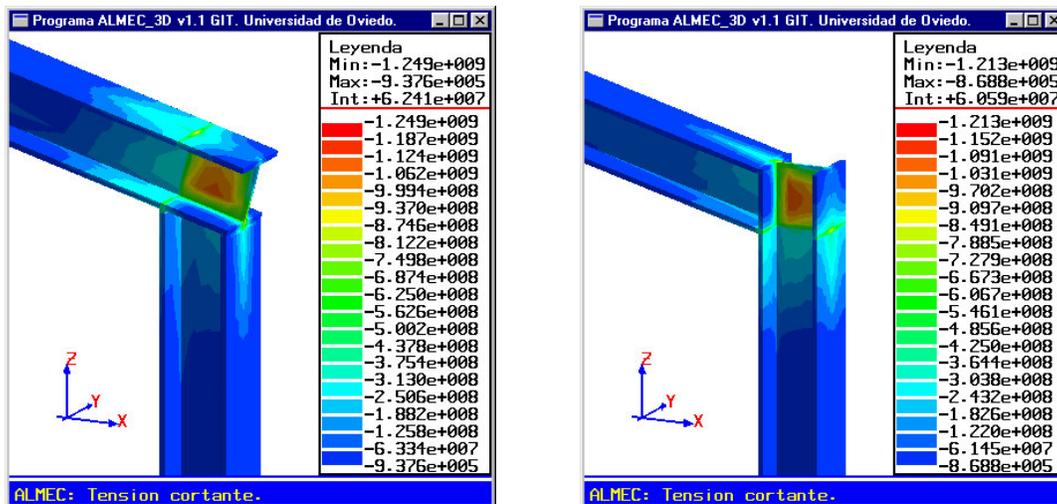


a.- Unión por la base del dintel.

b.- Unión por el lateral del dintel.

Fig 10 – Tensión YZ.

Si se estudian las tensiones cortantes, en los ejes principales de inercia, (Fig 11) se obtiene una distribución de tensiones idéntica en ambos tipos de unión y valores de igual magnitud. Lo que sí se puede observar en este caso, es como la zonificación va aumentando desde el extremo del perfil prolongado hacia el plano de unión siendo máximos los cortantes en las proximidades del plano de unión.

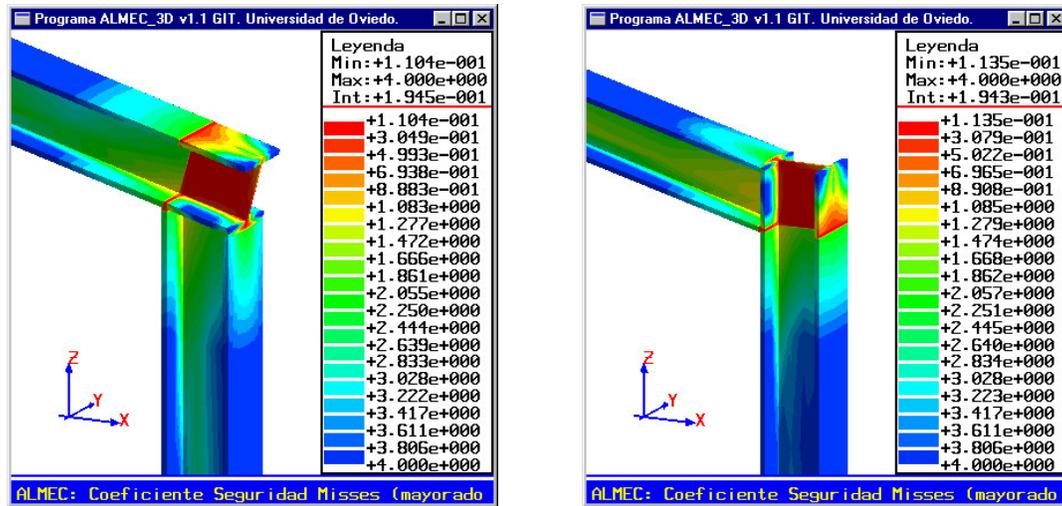


a.- Unión por la base del dintel.

b.- Unión por el lateral del dintel.

Fig 11 – Tensiones cortantes.

De igual manera, el coeficiente de Von Misses tiene distribuciones similares en los dos tipos de unión estudiados. Este coeficiente nos indica las zonas críticas a rotura, reflejándolas por los valores inferiores a uno. Observando las figuras, se vuelve a comprobar que es la prolongación de los perfiles a partir del punto de contacto la zona más crítica de la unión (Fig 12).



a.- Unión por la base del dintel.

b.- Unión por el lateral del dintel.

Fig 12 – Coeficiente de seguridad de Von Misses.

6. Conclusiones.

A tenor de los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo hemos llegado a las conclusiones siguientes:

- ✓ En uniones bien realizadas donde el material de aporte presenta las mismas características resistentes que los perfiles a unir, el plano de soldadura se comporta como una zona más de los perfiles.
- ✓ La situación del plano de unión apenas es significativa en uniones planas sometidas a flexión.
- ✓ Los puntos críticos se sitúan sobre los perfiles en las zonas próximas a la unión.
- ✓ Si se puede asegurar una correcta unión, el fallo no se ha de estudiar sobre el plano de unión, sino en el perfil que se prolonga a partir del punto de contacto entre los perfiles que configuran la unión.

7. Referencias bibliográficas.

- [1] George A.; Liu J.; “Computer Solution of Large Sparse Positive Definite Systems”, Prentice-Hall Inc; New Jersey, 1981.
- [2] Ensidesa “Prontuario de Ensidesa”
- [3] Rodríguez Borlado, Ramiro; Martínez Lasheras, Carlos; Martínez Lasheras, Rafael. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. “Prontuario de Estructuras Metálicas”. CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). Madrid, 1994. ISBN 84-7790-010-8.

- [4] “Estructuras de acero en edificación (Norma Básica de la Edificación NBE EA-95)”. A. Madrid Vicente, Ediciones. Madrid, 1996. ISBN 84-87440-86-X.
- [5] Bruce G. Johnston; F. J. Lin; T. V. Galambos. “Diseño Básico de Estructuras de acero”. Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A. Mexico, 1988. ISBN 968-880-123-2.
- [6] Rodríguez Borlado, Ramiro. “Manual de Estructuras Metálicas de edificios urbanos”, CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). Madrid, 1997. ISBN 84-7790-280-1.
- [7] Heredia, Rafael. “Apuntes de Construcciones Metálicas”. Volumen I, II, III. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales- Madrid, 1975.
- [8] “Guía de diseño para edificios con estructura de Acero”. Ita
- [9] Irls R., Irls F. “Explicit Stresses under rectangular footings”, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 120, No. 2. February, 1994.
- [10] Blaszcak M. “The Revolutionary Guide to MFC 4 Programming with Visual C++”, Wrox Press Ltd. ISBN 1-874416-92-3, Canadá, 1996.
- [11] Microsoft Press “Microsoft Visual C++. User’s Guide (v. 1; v. 2; v. 3; v. 4; v. 5; v.6)”, Microsoft Press. ISBN 1-55615-915-3 (v. 1), ISBN 1-55615-921-8 (v. 2), ISBN 1-55615-922-6 (v. 3), ISBN 1-55615-923-4 (v. 4), ISBN 1-55615-924-2 (v. 5), ISBN 1-55615-925-0 (v. 6), Unites States of America, 1995.