

SIMULACIÓN DE FENÓMENOS DE DESGASTE MEDIANTE EL USO DE ABAQUS/SCRIPTING

Ricardo Hernández¹ ricardo.hernandez@ctm.com.es

María Dolores Riera² md.riera@upc.edu

¹ CTM-CENTRE TECNOLÒGIC <http://www.ctm.com.es>

Avda. Bases de Manresa, 1. 08242-MANRESA (Barcelona)

² Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Departament de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica (UPC-Barcelona)

RESUMEN

Enmarcado en la problemática del desgaste de herramientas dentro de la industria de conformado de chapa de alta resistencia, se ha desarrollado una metodología para estimar el desgaste en útiles de conformado en frío, la cual consiste en encadenar una secuencia de simulaciones mediante la programación de scripts en lenguaje PYTHON. En el presente trabajo se realiza una evaluación de dicha metodología y se muestran los resultados iniciales, ejemplificados mediante geometrías poco complejas. La variable de mayor interés a estudiar es el volumen de material perdido durante el contacto deslizante continuo y prolongado de dos piezas metálicas. Finalmente se concluye con una extrapolación de dicha metodología a casos industriales reales y con una comparativa de diferentes técnicas para abordar el problema de la predicción del desgaste.

1. INTRODUCCIÓN

En el sector automovilístico se ha incrementado el uso de aceros de alta y muy alta resistencia para conformar piezas de carrocería. La utilización de estos nuevos aceros lleva asociada una problemática específica en la construcción de los útiles de conformado. El elevado límite elástico de estos aceros obliga a utilizar elevadas presiones de conformado en frío, lo que provoca la aparición de roturas y desgaste prematuro en el utillaje ⁽¹⁻²⁾. Para controlar de manera efectiva el desgaste se requiere abordar este complejo fenómeno desde diferentes enfoques, uno de ellos es la distribución tensiones en las herramientas y la magnitud de las presiones de contacto, con esta información es posible predecir la cantidad de desgaste que sufrirá la herramienta y la viabilidad de utilizar determinado acero de herramienta, tanto desde el punto de vista de resistencia al desgaste como de la resistencia a la fatiga.

La simulación numérica mediante el método de los elementos finitos (MEF) se presenta como una herramienta claramente aventajada para analizar el comportamiento mecánico de las herramientas durante operaciones de conformado.

El objetivo de este trabajo es ofrecer una primera aproximación a la compleja problemática asociada con la obtención de herramientas predictivas del fenómeno de desgaste. En este marco, se ha desarrollado una metodología que permite estimar el desgaste de herramientas de conformado, la cual esta basada en encadenar una secuencia de simulaciones de conformado consecutivas mediante Abaqus/explicit utilizando la programación de Abaqus/Scripting soportada en el lenguaje Python.

2. ESTRATEGIAS PARA MODELIZAR EL DESGASTE

La estrategia más simple para estimar el desgaste en una herramienta de conformado consiste en realizar una simulación del proceso a estudiar, y extraer las presiones de contacto en la superficie de la herramienta o en su defecto las fuerzas sobre dicha superficie, a su vez se pueden extraer también los deslizamientos relativos entre el material conformado y cada punto en la superficie de la herramienta. Estos resultados son generalmente los asociados a las variables de mayor importancia en los modelos de desgaste, los cuales tienden a correlacionar el volumen desgastado o erosionado con la fuerza normal sobre la superficie, el deslizamiento relativo de las superficies en contacto y parámetros propios de los materiales en contacto. El modelo de Archard ⁽³⁾ se presenta como uno de los mejor aceptados en el estudio de este fenómeno y cuenta con la ventaja de una formulación matemática simple. La forma general de la ecuación de Archard viene dada por:

$$V = K F X / H$$

Donde V es el volumen de material perdido, F es la carga normal, X es la distancia de deslizamiento relativo entre las dos superficies en contacto, H la dureza del material y K es el coeficiente adimensional de desgaste, el cual depende de diferentes factores como la lubricación, la compatibilidad de los materiales, etc.

Conocidos los valores de F y X para una operación de conformado se establece una relación directa entre el desgaste y el número de piezas a conformar. Sin embargo con esta estrategia se incurre en un error importante, ya que las variables son únicamente evaluadas sobre la geometría original de la herramienta. El desgaste modifica progresivamente la superficie de contacto y este cambio a su vez repercute significativamente en las presiones de contacto, así el desgaste pierde su relación lineal con el número de piezas conformadas.

Una mejor estrategia consiste en realizar actualizaciones periódicas de la geometría a lo largo de su vida productiva ⁽⁴⁾, con lo cual el cálculo del desgaste se puede asociar a un número discreto de simulaciones, cada una implementada sobre la geometría modificada por el desgaste incurrido en el periodo anterior. Esta metodología ha sido implementada en Abaqus/Standard mediante técnicas de mallado adaptativo y controlada por la subrutina UMESHMOTION ⁽⁵⁾, sin embargo presenta una limitación importante, es solo aplicable a procesos en los cuales se alcanza, desde el punto de vista geométrico, un estado estacionario, y donde las únicas variaciones geométricas sean las causadas por el desgaste mismo. Por ejemplo los procesos de laminación, extrusión, trefilado, e incluso un proceso de mecanizado pueden ser analizados mediante el procedimiento descrito anteriormente.

Con el fin de estudiar el desgaste en herramientas de conformado en frío de chapa metálica, se implementó el mismo esquema presentado, sobre una plataforma mas robusta. Simplemente se programó un *scrip* mediante lenguaje *Phyton* en el cual se realizan diferentes simulaciones sucesivas en las cuales se modifica la superficie de contacto en función de los resultados de la simulación precedente.

3. ESTRUCTURA DEL SCRIPT

Como punto de partida se toma una simulación convencional de conformado de chapa, donde las herramientas se modelan de forma rígida, y de la cual se cuenta con un fichero de resultados ODB con las variables de contacto CSTRESS y FSLIP, presiones de contacto y deslizamiento relativo acumulado, respectivamente. Además se deben conocer los nodos sobre los cuales se desea calcular el desgaste.

Por otra parte se debe contar, dependiendo del modelo de desgaste utilizado, con las constantes de desgaste asociadas al par tribológico, las cuales procederán bien sea, de ensayos experimentales o de valores reportados en la literatura.

Con todos los datos de entrada completos, el *script* procede accediendo al odb y calcula el desgaste en cada nodo, siguiendo el modelo de desgaste utilizado, para ello se leen las variables en cada *frame* del ODB para cada nodo.

Paso siguiente se importa un nuevo modelo mediante el fichero INP que dio origen a los resultados iniciales, sobre este modelo se modifica la geometría de la superficie de contacto desgastada. Para realizar la modificación se calcula el vector normal a la superficie en cada nodo de interés, el cual define la dirección del desgaste y cuya magnitud ha sido calculada anteriormente. Se proyecta el valor de desgaste calculado en el sistema de coordenadas globales y se procede mediante el método *editNode* a modificar la posición según el desgaste calculado.

Con la geometría actualizada se genera un nuevo trabajo, el cual es ejecutado de inmediato. El *script* permanece en espera hasta que el cálculo se complete para luego realizar un nuevo ciclo recursivo del proceso explicado.

El *script* finaliza después de realizar el número de correcciones geométricas establecidas por el usuario. La figura 1 muestra gráficamente la estructura del *script*.

4. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

A modo de ejemplo, a continuación se muestra la implementación del *script* sobre un caso concreto de conformado de chapa, el modelo ha sido simplificado al máximo para reducir el coste computacional manteniendo únicamente los componentes de interés.

Dada la complejidad asociada a la resolución de los contactos en un problema de embutición de chapa real, se decidió probar la metodología utilizando como base Abaqus/Explicit, ya que la experiencia ha demostrado sus múltiples ventajas en esta aplicación específica (Abaqus/Standard no se presta como una buena alternativa), sin embargo el *script* es igualmente válido para cualquiera de los dos solucionadores bien sea explícito o implícito.

El modelo consiste en dos piezas, una chapa metálica plana y una herramienta rígida con un radio de curvatura, el cual imprime un doblado sobre la chapa (Fig. 2). El material de la chapa se asumió isotrópico y elastoplástico en forma bilineal con módulo de Young de 200 GPa y $\nu=0,3$. El límite elástico se fijó en 1200 MPa y el punto máximo de la curva se impuso en 1500 MPa a una deformación plástica de 0,3.

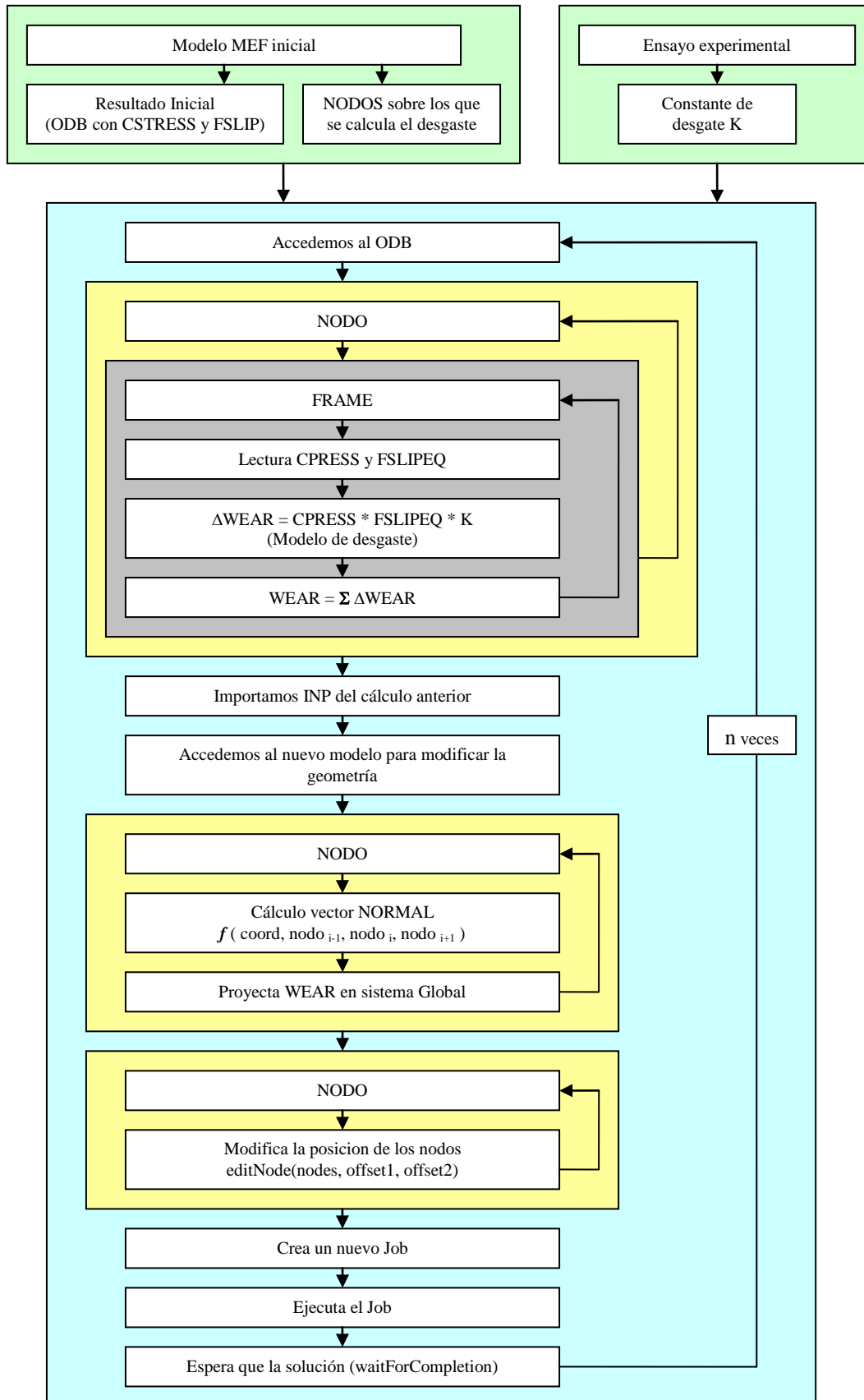


Figura 1.- Diagrama de flujo del *script* para el cálculo de desgaste.

El sistema se simuló de forma bidimensional asumiendo un estado de deformación plana. Se aplicaron condiciones de contorno únicamente en forma de desplazamiento, empotrando el punto de referencia de la herramienta rígida, imponiendo simetría y desplazamiento vertical al extremo izquierdo de la chapa y restringiendo el desplazamiento vertical de un sector del lado derecho de la chapa a efecto de pisador (fig. 3).

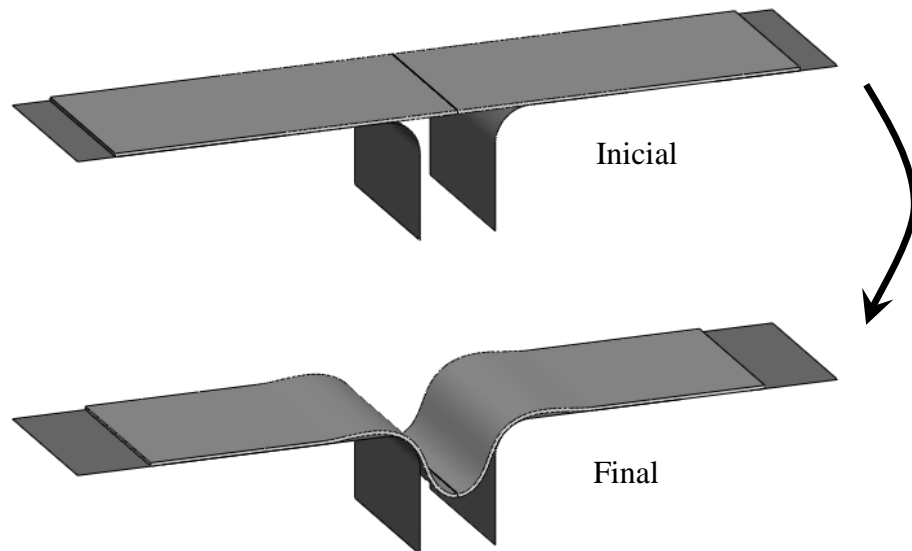


Figura 2.- Problema de conformado de chapa simulado.

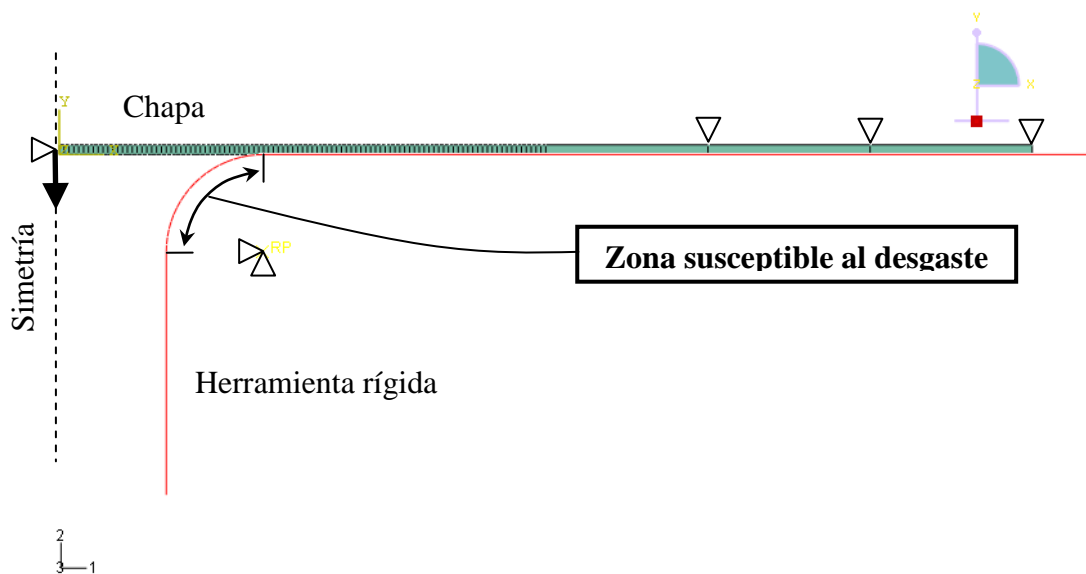


Figura 3.- Modelo bidimensional del conformado de chapa

Sobre este modelo y obtenido el resultado inicial se ejecutó el *script* para un total de 10 bucles, la K de desgaste utilizada fue de $0.01 \text{ mm}^2/\text{N}$. La figura 4 muestra esquemáticamente como se calcula la pérdida de material y la comparativa entre el radio original y el perfil del radio desgastado al finalizar los 10 bucles.

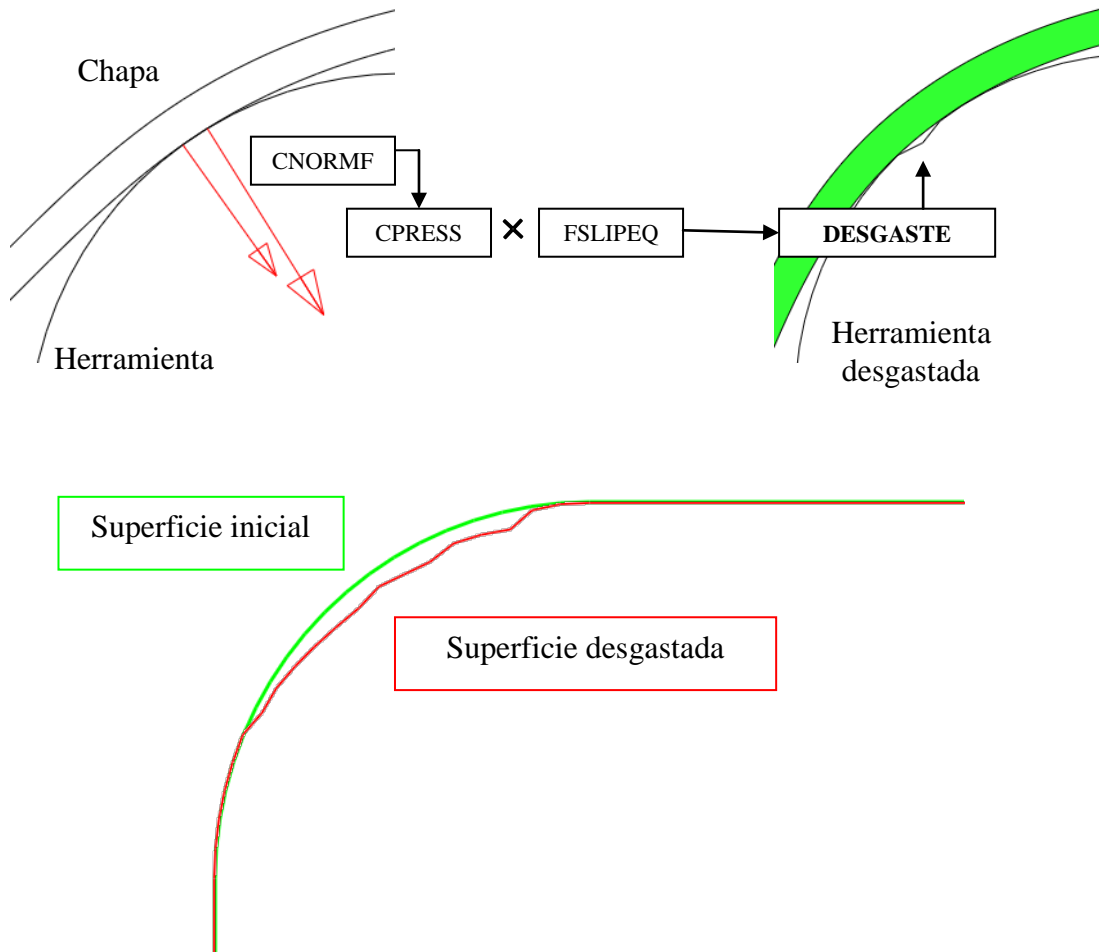


Figura 4.- Esquema de cálculo y resultado final.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Como primera conclusión cabe destacar el enorme potencial y la gran flexibilidad para extender las capacidades del modelado por elementos finitos, al utilizar Abaqus/CAE y su programación mediante Abaqus/Scripting. También hacemos énfasis en la excelente documentación que acompaña al programa e incentivamos a una minuciosa revisión de la misma antes de invertir esfuerzos en programar métodos similares a los ya existentes en las librerías.

El *script* diseñado permite implementar una metodología estable y concreta para la estimación del desgaste en cualquier sistema de conformado, superando las limitaciones enmarcadas en el uso de Abaqus/Standard y la subrutina UMESHMOTION, siendo esta metodología extrapolable a simulaciones de procesos industriales reales.

Cada sistema tribológico conlleva una etapa inicial de puesta a punto, en nuestro caso, se debe tener en cuenta que la metodología descrita condiciona una fuerte dependencia al mallado, y al número de correcciones geométricas que se realicen.

Como trabajos futuros se utilizará dicho script para calcular el desgaste de una matriz de conformado de chapa de alta resistencia, la cual trabaja en condiciones controladas similares a las de producción. Esto servirá para validar y establecer las limitaciones de la metodología presentada.

6. AGRADECIMIENTOS

Los trabajos descritos se enmarcan dentro del proyecto Forma0, liderado por SEAT, S.A. y subvencionado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio dentro del programa CENIT (Consortios Estratégicos Nacionales de Investigación Técnica).

7. REFERENCIAS

- [1] B. Högman, 6th International Tooling Conference, The Use of the Tool Steel: Experience and Research, Ed Bergström et al, Karsltad University, 2002, p 203-216.
- [2] D. Hortig, D. SchmoেকেL, “Analysis of local loads on the draw die profile with regard to wear using the FEM and experimental investigation” Journal of Materials Processing Technology, 115, 2001, pp 153-158.
- [3] Archard, J. F. “Contact and rubbing of flat surface” J. Appl. Phys. 24:981-988, 1953.
- [4] I.R. McColl, J. Ding, S.B. Leen, “Finite element simulation and experimental validation of fretting wear” Wear, 256, 2004, pp 1114-1127.
- [5] R. Hernández, M.D. Riera, J.M. Prado, “Simulación de desgaste mediante la subrutina UMESHMOTION”, XI Reunion de Usuarios de Abaqus, España, 2006.