

SIMULACIÓN DEL DESGASTE DE HERRAMIENTA EN PROCESOS DE TORNEADO.**WEAR SIMULATION IN THE TOOL TURNING PROCESS.**

Ph.D. Luz Karime Hernández Gegen*, **M.Sc. Edison Martínez Oviedo***
Ing. Jonathan Javier Pabón Rojas*

***Universidad de Pamplona**, Ingenierías y arquitectura, Ingeniería Mecánica, GIMUP.
Campus universitario KM 1 Vía Bucaramanga. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Teléfono: (57+7) 5685303 - 5685304
E-mail: lukahege@hotmail.com, Ed1son1nvent@gmail.com, jonathanjpabon@hotmail.com

Resumen: El presente trabajo, describe el desarrollo de una simulación con un modelo de elementos finitos basado en una aplicación del software ANSYS. El principal objetivo es identificar el desgaste producido en la herramienta de corte monofilamento mediante la simulación de un proceso de torneado de metales. Se inicia con el diseño de la herramienta seguido de un análisis de elementos finitos en dos dimensiones para determinar los parámetros y condiciones requeridos en la simulación. Una vez se establecen los parámetros requeridos para el procesamiento se realiza un análisis en tres dimensiones. Posteriormente, se hace un estudio comparativo con imágenes obtenidas (mediante técnicas de visión artificial) del proceso real de desgaste de herramienta, de esta manera se validan los resultados obtenidos en el proceso de simulación. Los principales factores comparados son: la influencia de un primer impacto, formación de viruta y la zona crítica que se ve influenciada por el desgaste.

Palabras clave: CAD, CAE, desgaste, herramientas, simulación, torneado.

Abstract: The following study describes the development of a simulation with finite elements model based in the application of the software called ANSYS. The main objective is to identify the wear produced in the monofilament cutting tool through the simulation of the metal turning process. It starts with the design of the tool, suddenly it is analyzed the finite elements in two dimensions in order to determine the parameters and the conditions required in the simulation. Once the parameters required for the simulation are set, the analysis in three dimensions is done. Afterwards, a comparative study is carried out with images taken from the real wearing tool process (through artificial vision techniques), in this way, the emerged results from the simulation process are validated. The principal aspects compared are: the first impact influence, shaving formation and the critical zone influence for the wearing process.

Keywords: CAD, CAE, simulation, tool, turning, wear.

1. INTRODUCCIÓN

Diversos sistemas de predicción y monitoreo de desgates han sido estudiados y analizados con el fin de establecer un ideal para la vida útil de la herramienta. Estos sistemas de monitoreo están divididos en dos métodos de medida, directos e indirectos. Los métodos directos son los más exactos a la hora de evaluar el desgaste, no son los más utilizados puesto que en la mayoría requiere la extracción de la herramienta y su medida en dispositivos adecuados. Los métodos indirectos son más utilizados por su sencillez y facilidad de lectura, implican las medidas de desgaste a través de variables intermedias como fuerzas, temperatura, vibraciones, o potencia consumida (Gegen, 2007). Esta investigación utiliza un método directo para validar el desgaste de la herramienta contando con imágenes de visión artificial. Actualmente la visión artificial es empleada en diferentes campos como es el caso de Lambrano Erick et al., (Lambrano, Lázaro, & Trigos, 2017) quienes en su investigación utilizan estos sistemas orientados a la inspección del proceso GMAW. Al igual que Gualdrón Oscar y Duque Oscar (Gualdrón, O.; Duque, O., 2014) quienes utilizaron visión artificial, reconocimiento de patrones e inteligencia artificial para el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de reconocimiento de rostros. Por otra parte, Luis Andrade y Qun Ren (Maia, Abrao, Vasconcelos, Sales, & Machado, 2015), (Ren, Baron, Balazinski, Botez, & Bigras, 2015), estudiaron métodos indirectos relacionados con emisiones acústicas para determinar la vida y desgaste de la herramienta. Andrade comparo valores de frecuencia y excitación para la identificación de mecanismos de desgaste como un medio eficaz y preciso. Ren, presento una evaluación del desgaste de herramienta de corte en el proceso de torneado de alta precisión, mostrando que la incertidumbre en la señal acústica representa el desgaste en la herramienta. Siguiendo un rumbo de métodos indirectos, Rajiv (Yadav, Abhishek, & Mahapatra, 2015), M. Binder (Binder, Klocke, & Lung, 2015) y E. Falconnet (Falconnet, Chambert, Makich, & Monteil, 2015), presentaron enfoques en cuanto a simulación por medio de métodos de análisis de elementos finitos “FEM” para determinar el desgaste de herramientas de corte.

Actualmente es vanguardia el uso de simulaciones en elementos finitos, debido a su bajo costo comparado con el uso de prototipos funcionales. Ceretti et al (Ceretti, Lazzaroni, Menegardo, & Altan, 2000), afirmaron en su trabajo que con

respecto a las operaciones de mecanizado el análisis de elementos finitos ha venido probando ser efectivo, simulando la formación de viruta y operaciones de corte. Importante hasta el punto de llegar a diseñar nuevas herramientas de corte y optimizar los procesos de mecanizado. Así mismo, Attanasio et al (Attanasio, Ceretti, Fiorentino, Cappellini, & Giardini, 2010), evalúan por medio de métodos de elementos finitos, el avance de desgaste de una herramienta en procesos de corte. Implementan un nuevo modelo analítico de desgaste de herramientas, combinando el modelo de desgaste abrasivo de Takeyama y Murata (Takeyama & Murata, 1963) con el modelo de desgaste difusivo de Usui (Usui, Hirota, & Masuko, 1978). Haciendo uso de DEFORM 3D simulan procesos de corte evaluando el desgaste de herramienta, para luego, comparar el modelo de elementos finitos con el modelo analítico. Encontraron una buena habilidad de reproducir el desgaste de la herramienta, demostrando que se puede usar simulaciones FEM para identificar las condiciones del proceso de corte que puedan determinar el fallo de la herramienta.

Del mismo modo, el uso de simulaciones utilizando modelos de elementos finitos, es considerado una tendencia multidisciplinaria. Donde no solo se predice, si no también se analiza en tiempo real fenómenos físicos, útiles en la aplicación de diversos procesos de producción. Attanasio et al (Attanasio et al., 2010), coincide con Bin Li (Li, 2012), al afirmar que se ve reflejado en costos el uso correcto de la herramienta de corte. Attanasio expresa que el desgaste afecta la vida útil, sustitución de la herramienta y calidad del producto, siendo de interés para la mejora en procesos y costos (Attanasio et al., 2010). Bin Li coincide en la importancia de conocer la vida útil, estado de desgaste, parámetros y material centrándose más en los tiempos muertos (Li, 2012). El uso de FEM implica un costo en capacidad computacional y tiempo, valor que demuestra ser menor comparado con el costo de otros métodos como el uso de prototipos y modelos reales. Es por esto que las simulaciones resultan tener un factor atractivo. Ceretti et al (Ceretti et al., 2000), en su trabajo expresa que alrededor del año 2000 ha sido efectivo el uso de FEM a la hora de simular operaciones de corte y formación de viruta. Aprovechando esto avanzó en el uso de simulaciones de operaciones de corte, al pasar de análisis en 2D a simular procesos en 3D. De igual manera J. Lorentzon y N. Järvtstrå (Lorentzon & Järvtstrå, 2008), definen como objetivo de su

trabajo, desarrollar un modelo de desgaste con FEM que pueda predecir la geometría gastada en herramientas de carburo cementado, en el maquinado de aleaciones basadas en Níquel. Concluyendo que el modelo de fricción tiene gran influencia en el perfil de desgaste simulado.

Este trabajo pretende dar una visión del desgaste de herramienta mediante una simulación utilizando un software de elementos finitos. Los resultados obtenidos en la simulación se comparan posteriormente con imágenes reales de desgaste, con el propósito de validar la información.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de la simulación de elementos finitos, se parte de un CAD con geometría simplificada en dos y tres dimensiones. La herramienta monofilo utilizada es una plaquita para operaciones de cilindrado en un proceso de torneado. Las geometrías utilizadas en la simulación (material de trabajo y punta de la herramienta) se muestran más adelante. De estas dos se recorta y procesa el área de interés, con el fin de ahorrar en gasto computacional.

Por otra parte, se establecen parámetros y condiciones de simulación en cada una de las etapas, las cuales se enumeran a continuación.

2.1 Preprocesamiento

En esta fase se preparan las geometrías que van a interactuar en la simulación, los materiales que las componen y su respectivo mallado. La geometría de la herramienta, la pieza de trabajo y el material con el que están compuestos son datos específicos, los cuales se incorporan al programa sin mayores modificaciones. Por otra parte, en el proceso de mallado se ve involucrada la capacidad de decidir cuál tipo y densidad de malla es el correcto. Para esto se maneja la relación número de nodos-discrepancia, teniendo en cuenta como limitante el poder computacional de los equipos trabajados.

2.1.1 Importación y modificación de la geometría

Las geometrías simplificadas, son importadas al software de simulación. Teniendo en cuenta el gasto computacional al hacer un análisis en simulación de elementos finitos, se opta por un modelo previo en dos dimensiones ver Figura 1, que permite esclarecer los parámetros para un

posterior análisis tridimensional ver Figura 2. Estas geometrías se muestran a continuación.

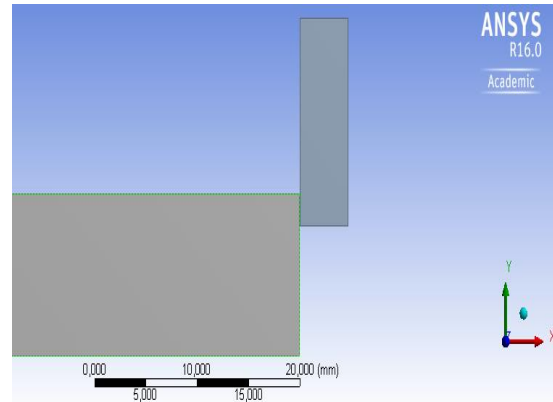


Figura 1. Geometría 2D, herramienta y material de trabajo.

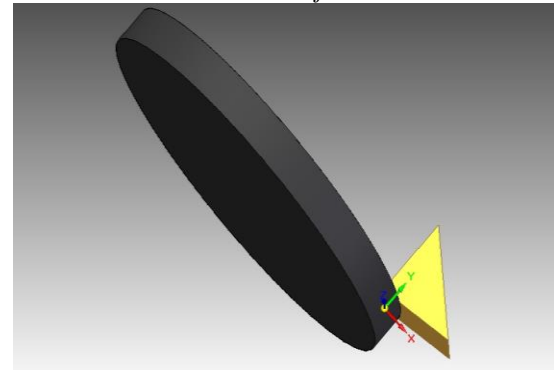


Figura 2. Geometría 3D de la punta de la herramienta y material de trabajo.

2.1.2 Incorporación de materiales

Los materiales utilizados en la simulación corresponden a los materiales que componen el inserto y material de trabajo y se ven representados en la Tabla 1.

Tabla 1. Materiales que intervienen en la simulación.

#	Material	Aplicación	Estado
1	Carburo cementado	Material de la herramienta	Incluido en la Engineering Data
2	Acero AISI 4340	Material de trabajo	En Engineering Data

En la

Tabla 2 se puede observar las propiedades del material de una herramienta de carburo cementado.

Tabla 2. Propiedades del material de herramienta de carburo cementado (Lorentzon & Järvsträt, 2008).

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Density	11900	Kg/m ³
Young's modulus	630	Gpa
Poisson's ratio	0.26	
Yield limit	4250	Mpa
Thermal expansión	5.4e-6	
Specific heat	334	J/Kg °K
Thermal conductivity	100	W/m °K

2.1.3 Mallado

Por medio del software se lleva a cabo el proceso de mallado, existe un método por defecto en el que el software toma la pieza y aplica un mallado estándar para un análisis general. En el caso del inserto se necesita conocer con más detenimiento los efectos de las fuerzas y deformaciones que actúan en una determinada cara o parte de la geometría. ANSYS permite modificar la densidad de la malla en determinado punto de la geometría, así como también posee otras herramientas para casos específicos. Para este estudio solo se tiene en cuenta un refinamiento en la cara y borde que entrarían en contacto a la hora de la interacción.

Mallado de geometría en 2D: este proceso de mallado se realiza con un tamaño de 0,5 mm, para un posterior refinamiento grado 2 en la cara de contacto de la herramienta y grado 1 en el material de trabajo. De igual manera se utiliza la herramienta Face meshing que brinda un ordenamiento de malla en cuadriláteros. El resultado final se puede ver en la Figura 3.

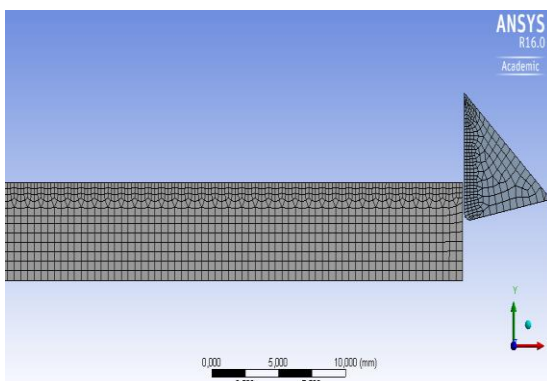


Figura 3. Mallado 2D, vista de flanco.

Mallado de geometría en 3D: el proceso de mallado en la geometría en 3D es similar al anterior con variantes de 2mm en el tamaño de elementos. El proceso de Face meshing se aplica en la cara de la herramienta y el borde exterior del tocho, en este último se le asigna un número de divisiones internas de 4. En la Figura 4 se puede visualizar el mallado de la geometría 3D. Los refinamientos son de grado 3 en la cara de la herramienta y grado 1 en la superficie cilíndrica del tocho.

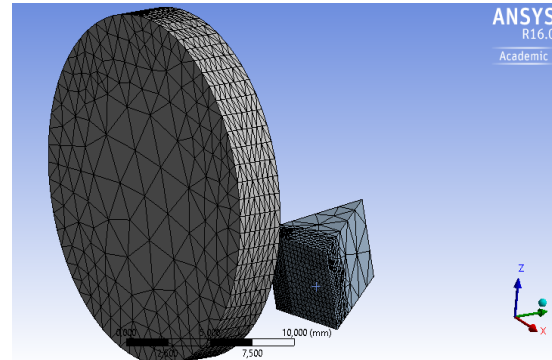


Figura 4. Mallado de la geometría 3D.

2.2 Procesamiento.

En la etapa de procesamiento se encuentran las variables con las que se ejecutará el modelo de elementos finitos, como lo son los desplazamientos de los objetos y parámetros de tiempo. Así mismo se incluyen los tipos de soluciones que se quiere analizar, en este caso la de mayor importancia es el desgaste en la punta de la herramienta. A continuación, se especifican estos parámetros.

2.2.1 Setup

En esta etapa se logró identificar algunos de los parámetros que intervienen en la simulación de elementos finitos. Entre ellos se tienen: las caras que están en contacto de la herramienta y de la pieza de trabajo, la fricción en el proceso de corte, la interacción de los cuerpos con el mismo coeficiente de fricción, la configuración del análisis en donde se modifican los tiempos de simulación y desplazamientos, terminando en los tipos de solución que se requieren para el análisis y posterior validación.

2.2.2 Solución

En la solución se incorpora la deformación total en los cuerpos que intervienen en el análisis. Ya de modo más específico se tiene en cuenta un análisis a la deformación elástica equivalente en la cara del

flanco de desgaste. De la misma forma analizando la cara de la herramienta se mira la máxima deformación elástica.

2.3 Postprocesamiento.

En la etapa de postprocesamiento se encuentra un análisis de resultados de acuerdo a la visualización de las simulaciones y datos de deformación.

2.3.1 Resultados de postprocesamiento

Se analizaron la deformación presente en la cara del flanco de la herramienta de corte. De igual manera se realiza un análisis de deformación, esto tiene como objeto una visión general del proceso de corte. El análisis se divide en las siguientes partes.

Análisis del primer contacto de la herramienta:

Este análisis es importante ya que representa una deformación significativa en la punta de la herramienta. En la Figura 5 se puede observar el primer impacto y la deformación generada por este, en una escala de colores; y en una gráfica deformación vs tiempo.

Análisis de desgaste prematuro: este análisis se tiene en cuenta cuando los parámetros de corte en el proceso de torneado no son los indicados. Se presenta un desprendimiento de material de la herramienta junto con la deformación de la punta, cráter y flanco. En la Figura 6 se ve representado: a) la deformación prematura de la punta de la herramienta y b) la respectiva gráfica deformación vs tiempo.

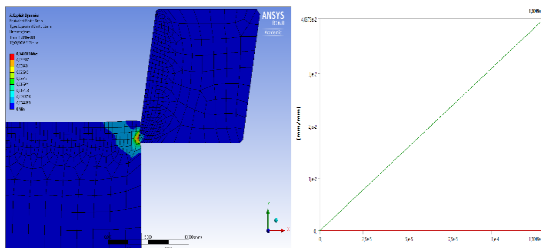


Figura 5. Análisis de primer impacto.

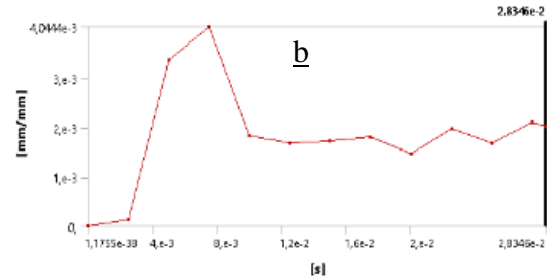
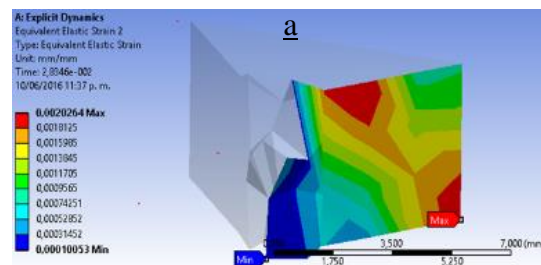


Figura 6. Deformación prematura de la herramienta.

Análisis de deformación en dos dimensiones: este análisis se realiza por la necesidad de simplificar el modelo de elementos finitos, debido al gasto computacional que implica realizarlo de manera normal. Con este análisis se busca establecer las propiedades y condiciones para una simulación más compleja en un modelo de tres dimensiones. El análisis de dos dimensiones se divide en dos modelos como se muestra en la Figura 7: a) el primero un modelo donde se evalúa el proceso de remoción de material teniendo en cuenta la velocidad de corte, y b) el segundo modelo evalúa la punta de la herramienta teniendo en cuenta el avance de la misma.

Análisis de deformación en tres dimensiones: este ejercicio de simulación implica un mayor gasto computacional, por lo cual se manejan tiempos de simulación cortos. En la Figura 8 se puede observar un proceso de simulación en tres dimensiones en el cual interviene el tocho con movimiento rotacional y la herramienta de trabajo posicionada con la profundidad de corte y su debido avance.

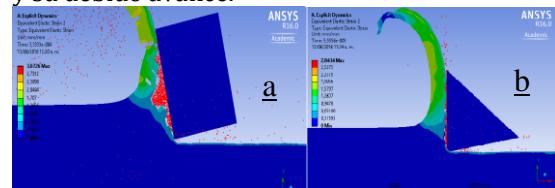


Figura 7. Análisis en dos dimensiones.

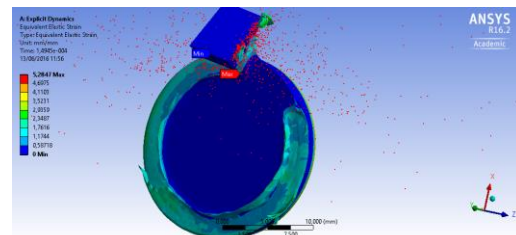


Figura 8. Análisis en tres dimensiones.

3. VALIDACIÓN

El proceso de validación se lleva a cabo comparando imágenes de desgaste real, con imágenes de la simulación del software ANSYS. El primer paso de este proceso es la recopilación de imágenes en la simulación con sus parámetros establecidos. Seguido de la inspección de las imágenes reales y establecer un parámetro de desgaste semejante ideal que permita usarse como medio de comparación.

3.1 Validación de desgaste prematuro de la herramienta

Esta fractura se produjo por los parámetros con los que se operó dicha herramienta, esto con la necesidad de establecer los parámetros ideales. En la Figura 9 se puede ver las dos imágenes, simulación y desgaste real para establecer semejanzas.

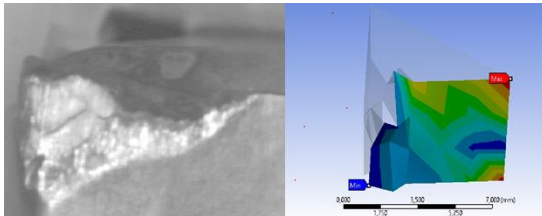
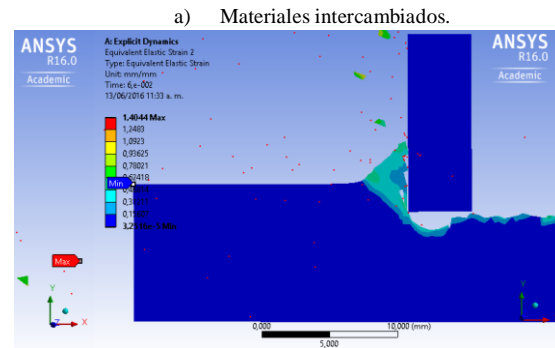
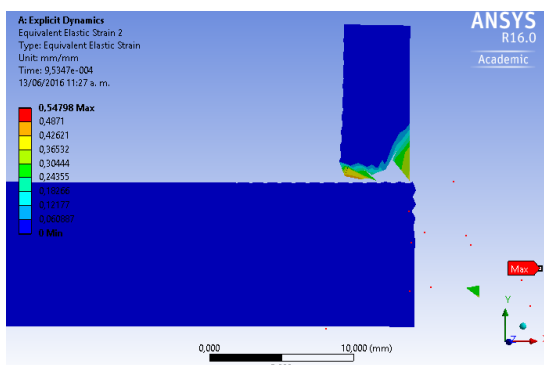


Figura 9. Validación de desgaste prematuro (Gegen, 2007).

3.2 Validación al intercambiar materiales.

En este paso y con la intención de observar un material de trabajo con mayor dureza que la herramienta de corte, se procede a hacer un intercambio de materiales en las geometrías. El análisis en simulación se realiza en 2D. En la Figura 10 se presenta una comparación de dos simulaciones: en la parte a), el análisis se realiza intercambiando materiales y en la parte b), análisis en simulación con los materiales correspondientes.



a) Materiales intercambiados.

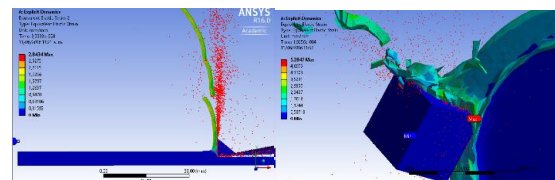
b) Materiales correspondientes.

Figura 10. Intercambio de materiales.

3.3 Validación en la formación de viruta.

La formación de viruta representa otro aspecto importante en el proceso de corte en torneado. En los análisis se utilizaron herramientas simplificadas para obtener así una malla menos densa. Como se ve en la Figura 11 se produce una viruta larga y continua en análisis a) en dos dimensiones y b) en tres dimensiones.

Al simular con geometrías simplificadas implica la ausencia del rompevirutas lo que se demuestra al observarse los grandes fragmentos de material desprendidos.



a) Dos dimensiones. b) Tres dimensiones.

Figura 11. Formación de viruta.

3.4 Validación de la zona de desgaste en geometría 3D

Se tiene que la simulación no representa un desgaste significativo debido al poco tiempo de análisis, por esto se evalúa mediante el área crítica que identifica la simulación. En la Figura 12 se puede observar una herramienta real con desgaste y una imagen de la simulación.

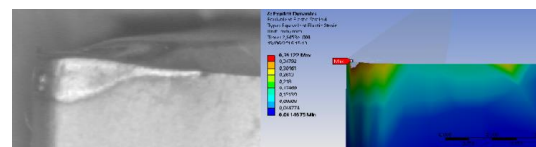


Figura 12. Zona de desgaste en tres dimensiones (Gegen, 2007).

Los ejemplos mencionados anteriormente proporcionan valides al proceso de simulación, se

demuestra que el desgaste se representa en la cara del flanco de corte.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De igual manera los resultados se dividen en las etapas de preprocesamiento, procesamiento y postprocesamiento, en donde se valora en cada una de estas fases la investigación realizada. Además, se tiene en cuenta los resultados del proceso de validación.

4.1 Preprocesamiento

Los resultados se determinan en función del número de nodos y elementos obtenidos después del proceso de mallado, serán ellos los que finalmente afecten el costo computacional de la simulación y los resultados de la misma.

4.1.1 Materiales.

En primera instancia se pudo investigar que materiales intervenían en el proceso de corte y las propiedades que los identificaban. Así mismo incorporarlos en el software de simulación y utilizar los que estaban en la biblioteca de materiales de ANSYS. Dentro de los materiales que intervienen en el proceso, está el carburo cementado que es la base de la herramienta de corte y el material de trabajo Acero AISI 4340 distinguido por su dureza, tenacidad y resistencia a la fatiga.

4.1.2 Mallado

Al tener en cuenta el gasto computacional se podría decir (dependiendo del ejercicio a simular), que un número menor de nodos implica menos procesamiento por lo que se procura disminuir la cantidad de ellos sin sacrificar la calidad de los resultados que se obtendrán. Por tal razón, la geometría seleccionada para la simulación posterior será la que involucra solo la sección de interés. Contando con 10898 nodos por parte de la herramienta y 18431 nodos de la pieza a mecanizar, para un total de 29329 nodos.

4.2 Procesamiento.

En esta etapa se logró identificar los parámetros, para utilizarlos posteriormente en el proceso de simulación, como se ve en la Tabla 3. Esta tabla brinda la información necesaria de las opciones que fueron modificadas en el programa.

Tabla 3. Parámetros utilizados, valores y área de configuración.

PARÁMETRO	VALORES UTILIZADOS	ÁREA DE CONFIGURACIÓN
Sistema de coordenadas	*sistema de coordenadas global **otro sistema de coordenadas 3 caras en la herramienta 2 caras en el material de trabajo	Coordinate Systems
Contactos	Por fricción: Coeficiente de fricción: 0.4 - 0.8 Coeficiente dinámico: 0.1 Constante de decaimiento: 0 Todas las caras	Connections
Interacción de cuerpos	Por fricción: Coeficiente de fricción: 0.4 - 0.8 Coeficiente dinámico: 0.1 Constante de decaimiento: 0	Connections
Tiempo de fin	5e-4 hasta 5e-2 [s]	Analysis Settings
Máximo error de energía	0.1 - 0.5	Analysis Settings
Desplazamiento de la herramienta	0,2 [mm] cada 5e-2 [s]	Analysis Settings
Desplazamiento del material de trabajo	360 [°] cada 5e-2 [s]	Analysis Settings
Soluciones	Deformación elástica equivalente: todos los cuerpos. Deformación elástica equivalente: cara del flanco de la herramienta Deformación total: Todos los cuerpos Máxima deformación elástica: cara del flanco de la herramienta	Solution

* Sistemas de coordenadas global: este sistema es utilizado para la velocidad lineal de la herramienta, en el proceso de simulación; esto con la necesidad de tener otro sistema.

** Otro sistema de coordenadas: con la necesidad de tener un movimiento cilíndrico en el tocho o material de trabajo, se recurre a otro sistema de coordenadas modificando así el movimiento en función del tiempo y número de grados de desplazamiento.

Los valores de fricción utilizados van de acuerdo con el material de la herramienta en la interacción de los cuerpos en la simulación de elementos finitos estos valores son obtenidos según el autor Henrik Nordenström, (Henrik Nordenström, 2006).

4.3 Postprocesamiento.

En esta etapa el análisis de resultados es más enfocado a los datos que se obtienen desde la

simulación, teniendo la deformación presente en diferentes casos.

4.3.1 Primer contacto de la herramienta.

En la Figura 13 se observa el procedimiento de contacto, en donde se compara el desgaste generado por el primer impacto y la gráfica de tiempo vs deformación; dando como resultado un desgaste alto luego de esto el desgaste presente se mantiene prácticamente constante y cuando se retira la herramienta no se genera ningún cambio.

La Figura 13 corresponde perfectamente con la teoría de desgaste donde la relación con la Figura 14 es evidente en la primera zona de desgaste. Zona de desgaste rápido inicial donde se identifica en la simulación que hay cambio considerable en un tiempo diminuto.

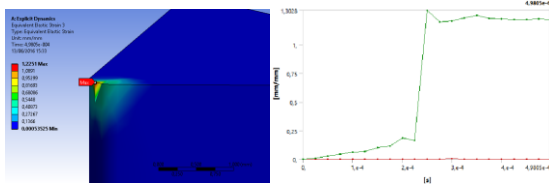


Figura 13. Imagen y gráfica de primer contacto.

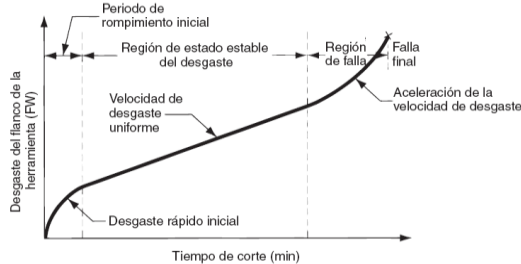


Figura 14. Desgaste de la herramienta en función del tiempo de corte.

4.3.2 Desgaste prematuro.

Los resultados de desgaste prematuro, están de acuerdo con el proceso experimental, pues es evidente un desprendimiento de material en la punta de la herramienta como se muestra en la Figura 6. Esto no solo indica que la simulación va por buen camino, sino que también es interesante para análisis posteriores.

4.3.3 Deformación en dos y tres dimensiones.

El análisis de dos dimensiones ayudo a esclarecer los parámetros y condiciones que intervienen en la simulación, también las limitantes del ejercicio como lo son: tiempo de corte, y complejidad en las

geometrías. Sin embargo, este análisis no brinda los resultados necesarios para una posterior validación.

En la deformación en tres dimensiones no solo se puede evaluar el desprendimiento de material, sino que también se puede enfocar la deformación solo en las partes de interés. En este caso la cara de la herramienta en donde se obtiene un desgaste de flanco y punta. Esta incidencia del desgaste de flanco permitió comparar la simulación de desgaste con imágenes reales obtenidas del proceso experimental. Este medio de comparación se hace de una manera visual deteniéndose a observar las zonas críticas (más afectadas por la operación de remoción de material), para luego afirmar una coincidencia de desgaste con las imágenes reales.

4.4 Resultados de la validación.

4.4.1 Resultados de desgaste prematuro

La validación se realiza comparando imágenes de la simulación con imágenes reales de desgaste, de igual manera se valida utilizando configuración del programa. Con respecto a la comparación de imágenes se puede decir que el desgaste se presenta en la punta de la herramienta. Resultado de esto, una deformación abrupta como se muestra en la Figura 9, propia de parámetros mal establecidos en la operación de corte. Tal como ocurre en la realidad.

4.4.2 Resultados al intercambiar materiales

En un proceso inicial, para probar la lógica del programa, se realiza una serie de ejercicios en donde se intercambian los materiales de la herramienta y la pieza de trabajo. Esto se realiza con el fin de probar el desgaste producido en la herramienta, al tener en sus propiedades un material con menor dureza comparado con el material a mecanizar. Los resultados fueron claros y evidentes, puesto que hay una deformación total en la herramienta de corte, tal como se esperaba.

4.4.3 Resultados de la formación de viruta.

Como lo muestra la Figura 11 en el proceso de simulación en elementos finitos, hay una deformación de la pieza de trabajo. Como resultado la formación de viruta, se puede apreciar de una mejor manera en la parte a), un desprendimiento de material organizado y continuo. Resultado coherente pues la herramienta carece de un

mecanismo para seccionar este material, conocido como rompeviruta. Sin embargo, en la parte b) en la geometría en tres dimensiones no se puede apreciar claramente la continuidad de la viruta, esto es debido al mallado escaso presente en la simulación. Mallado que se puede perfeccionar en un trabajo posterior para un mejor análisis de la formación de viruta, al estar enfocado el presente trabajo en la herramienta de corte, se opta por concentrar el gasto computacional en el flanco de la cara de desgaste de la herramienta.

4.4.4 Resultados de la zona de desgaste en la geometría 3D.

En la geometría de la simulación en tres dimensiones se aprecia una marca que identifica la zona de la herramienta afectada por el proceso de remoción de material. Utilizando esta marca se puede comparar la imagen de simulación con la imagen real. La simulación permite comparar la zona y forma en que incide el desgaste en el flanco. Obteniendo como resultado un área crítica similar al desgaste, en donde se va ver influenciado el desprendimiento de material propio de la herramienta.

5. CONCLUSIONES

Definiendo parámetros y condiciones para una simulación en elementos finitos que permitió analizar el proceso de desgaste de herramienta en una operación de torneado, se consiguió ajustar un modelo para una simulación confiable. De este ejercicio se pudieron definir las siguientes conclusiones:

A partir de una simulación en 2 dimensiones se permitió hacer una prueba inicial donde se evaluó el procesamiento lógico del ejercicio, lográndose obtener parámetros (ver tabla 3) para alimentar el software ANSYS

Al simplificar la geometría utilizada en el procesamiento de 3D, se logra una reducción de nodos y elementos que disminuyen de manera directa el trabajo computacional. Se logra pasar de un número de 28360 nodos en la geometría normal a un total de 12830 nodos en la pieza recortada. Lo que implica una reducción aproximada del 55% en número de nodos, importante para un posterior procesamiento computacional.

La zona crítica representada por su tendencia al desgaste, en el proceso de simulación se asemeja al desgaste real de la herramienta. Afirmando lo conveniente de un posterior trabajo que profundice el desgaste de la herramienta.

RECONOCIMIENTO

Al laboratorio de Simulación computacional de la Universidad de Pamplona.

REFERENCIAS

- Attanasio, A., Ceretti, E., Fiorentino, A., Cappellini, C., & Giardini, C. (2010). Investigation and FEM-based simulation of tool wear in turning operations with uncoated carbide tools. *Wear*, 269(5–6), 344–350. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2010.04.013>
- Binder, M., Klocke, F., & Lung, D. (2015). Tool wear simulation of complex shaped coated cutting tools. *Wear*, 330–331, 600–607. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2015.01.015>
- Ceretti, E., Lazzaroni, C., Menegardo, L., & Altan, T. (2000). Turning simulations using a three-dimensional FEM code. *Journal of Materials Processing Technology*, 98(1), 99–103. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00310-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00310-6)
- C. J. Torres, J. F. Archila, M. L. Tronco, M. Becker, A. J. V. Porto, A. J. Tiberti. (2013). Estudio cinemático de una plataforma robótica para agricultura. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA, ISSN: 1692-7257. 2(22).
- Falconnet, E., Chambert, J., Makich, H., & Monteil, G. (2015). Prediction of abrasive punch wear in copper alloy thin sheet blanking. *Wear*, 338–339, 144–154. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2015.06.007>
- Gualdrón, O.; Duque, O. (2014). Diseño de un sistema de reconocimiento de rostros aplicando inteligencia y visión artificial. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, Volumen 2, 117–126. Retrieved from http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_40/recursos/04_v19_24/revista_24/27072015/16.pdf
- Henrik Nordenström. (2006). *Comportamiento tribomecánico de sistemas sustrato - recubrimiento duros*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Lambrano, E., Lázaro, J., & Trigós, A. (2017).

- Revisión de técnicas de sistemas de visión artificial para la inspección de procesos de soldadura tipo GMAW. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1 – Número, 47–57. Retrieved from http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_40/recursos/05_v25_30/revista_29/21082017/08.pdf
- L. K. H. Gegen, «Propuesta de nuevos criterios de vida de herramienta de corte y determinación del desgaste a partir de la clasificación de imágenes digitales caracterizadas utilizando descriptores de región simples y basados en momentos .,» ciudad de leon, 2007.
- Li, B. (2012). A review of tool wear estimation using theoretical analysis and numerical simulation technologies. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 35, 143–151. <https://doi.org/10.1016/J.IJRMHM.2012.05.006>
- Lorentzon, J., & Järvstråt, N. (2008). Modelling tool wear in cemented-carbide machining alloy 718. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(10), 1072–1080. <https://doi.org/10.1016/J.IJMACHTOOLS.2008.03.001>
- Maia, L. H. A., Abrao, A. M., Vasconcelos, W. L., Sales, W. F., & Machado, A. R. (2015). A new approach for detection of wear mechanisms and determination of tool life in turning using acoustic emission. *Tribology International*, 92, 519–532. <https://doi.org/10.1016/J.TRIBOINT.2015.07.024>
- Ren, Q., Baron, L., Balazinski, M., Botez, R., & Bigras, P. (2015). Tool wear assessment based on type-2 fuzzy uncertainty estimation on acoustic emission. *Applied Soft Computing*, 31, 14–24. <https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2015.02.037>
- Takeyama, H., & Murata, R. (1963). Basic Investigation of Tool Wear. *Journal of Engineering for Industry*, 85(1), 33. <https://doi.org/10.1115/1.3667575>
- Torres, C., Archila, J., Tronco, M., Becker, M., Viera Porto, A., & Tiberti, A. (2013). Estudio cinemático de una plataforma robótica para agricultura. *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA*, 2(22).
- Usui, E., Hirota, A., & Masuko, M. (1978). Analytical Prediction of Three Dimensional Cutting Process—Part 1: Basic Cutting Model and Energy Approach. *Journal of Engineering for Industry*, 100(2), 222. <https://doi.org/10.1115/1.3439413>
- Yadav, R. K., Abhishek, K., & Mahapatra, S. S. (2015). A simulation approach for estimating flank wear and material removal rate in turning of Inconel 718. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 52, 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.SIMPAT.2014.12.004>