

Influencia de los parámetros de corte en el espesor de la zona de deformación plástica secundaria

Tania Rodríguez - Moliner, Mario Jacas - Cabrera, Federico Martínez - Aneiro †, Yaquelín García - Muñoz

Recibido el 19 de mayo de 2010; aceptado el 30 de julio de 2010

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo estudiar la influencia de los parámetros de corte en el espesor de la zona de deformación plástica secundaria (ezdps), utilizando calzos recubiertos con nano capas de TiN/TiAlN en un acero AISI 1045. Los resultados han sido comparados contra los obtenidos con una cuchilla calzada convencional de la firma SANDVIK con recubrimientos de TiCN-Al₂O₃-TiN, posibilitando el estudio del efecto de los recubrimientos nano-capas en el proceso de corte de metales.

Los resultados obtenidos demuestran que los efectos de la profundidad de corte y la velocidad de avance en el ezdps, usando cuchillas recubiertas con nano capas, siguen la misma tendencia que en las cuchillas convencionales aunque con valores mucho menores. A medida que la profundidad de corte y la velocidad de avance aumentan el ezdps aumenta proporcionalmente. Estos resultados se corresponden con los obtenidos por otros autores usando cuchillas convencionales.

Palabras claves: Deformación plástica secundaria, viruta, corte de metales, cuchillas recubiertas con nanocapas.

Influence of cutting parameters on the thickness of the secondary-plastic-deformation zone

Abstract

The aim of this paper is to study the influence of the cutting parameters in the thickness of the secondary plastic deformation zone (ezdps), for nano-layered (TiN/TiAlN) cutting tools. The results have been compared with the ones obtained for a conventional cutting tool.

The results show the effects of cutting speed, cut thickness and advance speed on the ezdps. The ezdps increases as the cut thickness, and advance speed increases. The effect of the cutting speed is contrary to the others. These results agree with the trend obtained by previous investigators, although the values obtained for the nano-layered-coated cutting tool are lower than with conventional tools.

Key words: Secondary plastic deformation, chip, cutting metals, nano-layered-coated cutting tool.

1. Introducción.

El proceso de formación de la viruta es un proceso físico complejo, en el que intervienen tanto la deformación elástica como la plástica, observándose tres zonas bien definidas de deformación: primaria, secundaria y terciaria. (Figura 1).

Durante el proceso de corte, la capa de metal a cortar, es comprimida y deformada plásticamente, hasta alcanzarse la condición de fractura del material en el punto más crítico dando origen a la viruta. Esta deformación sufrida por el material se conoce como deformación primaria.

La viruta, una vez formada, es obligada a deslizarse sobre la superficie de ataque de la herramienta (materiales dúctiles), donde la fuerza de fricción, que se opone a su deslizamiento por la superficie de ataque de la herramienta provocará en la cara de la viruta que incide en la superficie de ataque, determinados valores de deformación plástica conocida como secundaria.

Este proceso está acompañado no solo de la fricción, sino también de generación de calor, formación de filo recocado, contracción y enrollado de la viruta, deformación plástica en frío de la superficie maquinada (deformación terciaria) y desgaste de la herramienta.

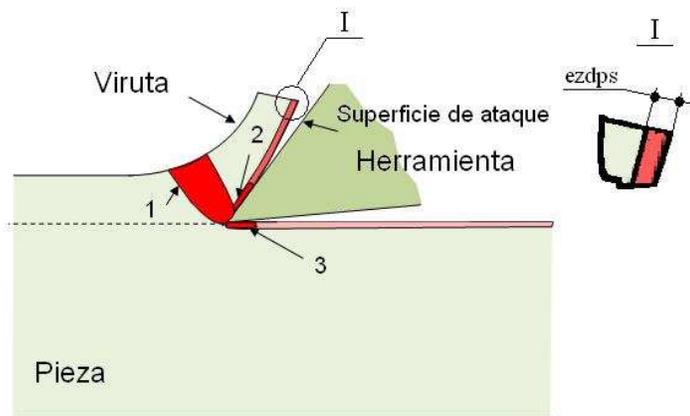


Figura 1. Esquema donde se muestran las diferentes zonas de deformación durante el corte.

1, Zona de deformación primaria; 2, zona de deformación secundaria; 3, zona de deformación terciaria.
ezdps: Espesor de la zona de deformación plástica secundaria.

La deformación plástica producida tanto en la zona primaria como secundaria, son las principales consumidoras del trabajo empleado en el proceso de corte de metales, siendo el espesor de la zona de deformación plástica secundaria una medida de la magnitud del mismo. Mayores valores del ezdps estarán relacionados con una mayor energía empleada en el proceso y por tanto un mayor desgaste de la herramienta. En la literatura se ha establecido que el espesor de la zona de deformación plástica secundaria se encuentra entre un 2 y un 20% del espesor de la viruta. [1]

Existen en la literatura numerosos estudios sobre el proceso de formación de la viruta durante el corte de metales [1-4], sin embargo no existen estudios profundos sobre la zona de deformación plástica secundaria.

En las últimas décadas se ha generalizado el uso de herramientas de corte con recubrimientos duros que posibilitan un aumento de la productividad de hasta un 60% [5]. Con estos recubrimientos aumenta la dureza de la herramienta, su resistencia al desgaste, la fatiga y la corrosión; disminuyendo el coeficiente de fricción [6]. El empleo del corte a altas velocidades ha sido posible por los avances logrados en los recubrimientos, en sus composiciones y disposiciones. Recientemente, se han desarrollado recubrimientos duros multi-componentes y multicapas, dispuestos en forma de nano capas. Estos, están en un constante estudio y reportes sobre las ventajas de su uso pueden ser encontradas en la literatura [7,8].

En la magnitud del espesor de la zona de deformación plástica secundaria influyen una serie de aspectos como: material a elaborar, geometría de la herramienta, régimen de corte, rugosidad superficial de la superficie de ataque de la herramienta, etc.

Como objetivo principal de este trabajo se plantea el estudio de la influencia del régimen de corte, para insertos recubiertos con multi-nano capas de TiN/TiAlN, en el espesor de la zona de deformación plástica secundaria (ezdps) de la viruta en un proceso de torneado.

2. Diseño experimental.

Para dar cumplimiento a los objetivos del trabajo se realizó un diseño experimental multifactorial con variables bloque ($2^3 \cdot 2$), lo que garantiza el análisis de las tres variables del régimen de corte (profundidad de corte, velocidad de avance y velocidad de corte), para dos herramientas diferentes. Los valores de los niveles de las variables de los regímenes de corte así como de los materiales de las herramientas se muestran en sus dos niveles en la Tabla No. 1.

Tabla 1 Niveles de las variables de experimentales.

| Niveles experimentales | Valores de las variables | | | |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--|
| | Profundidad de corte (t) [mm] | Velocidad de avance (S) [mm / rev.] | Velocidad de corte (V) [m / min] | Herramientas |
| Bajo | 0,25 | 0,26 | 80 | WC recubierto con nano capas de TiN/TiAlN |
| Alto | 0,4 | 0,43 | 150 | SANDVIK tri capa de TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN |

Selección de las herramientas de corte

Para el estudio de la interrelación de los parámetros de corte y el espesor de la zona de deformación plástica secundaria se tomaron dos insertos recubiertos, uno comercial de la firma SANDVIK y otro recubierto con nano capas de TiN/TiAlN. Ambos insertos presentan la misma geometría: ángulo de ataque -6° ; ángulo de incidencia 6° ; ángulo de posición principal 93° . El inserto de WC está recubierto con 300 multicapas de TiN/TiAlN, lo que equivale a 150 bi-capas de espesor de 15 nm de TiN y TiAlN, con un espesor total del recubrimiento de aproximadamente 3 μm . La función del Nitruro de Titanio y Aluminio es proveer al recubrimiento de elevada dureza y resistencia a la oxidación, potenciando aun mas las ventajas del uso de recubrimientos de TiN. El recubrimiento de TiN/TiAlN posee una resistencia a la tracción de 30GPa y una elevada eficiencia durante el mecanizado a altas velocidades. [8],

Como referencia, para comparar, se usó un inserto comercializado por la SANDVIK con un recubrimiento TiCN-Al₂O₃-TiN (GC4025) [SANDVIK. "Herramientas para torneear". Manual de trabajo 1998]. Este inserto es de uso industrial y ampliamente empleado en los procesos de maquinado. Este inserto tiene un recubrimiento grueso resistente al desgaste, sobre un sustrato duro de alta resistencia térmica. El recubrimiento interior, de 8 μm de espesor, esta superpuesto con una capa de Al₂O₃ de 6 μm de espesor. La capa externa está compuesta por un fino recubrimiento de TiN. El espesor del recubrimiento es aproximadamente de 10 μm . Esta combinación de una capa gruesa resistente al desgaste y un sustrato tenaz de cobalto, aporta unas excelentes propiedades de resistencia al desgaste, en una amplia gama de aplicaciones, tanto en acero como en fundiciones. En la Figura 2 se pueden observar las geometrías de los dos insertos utilizados en el proceso experimental.



Figura 2 Insertos utilizados en la fase experimental

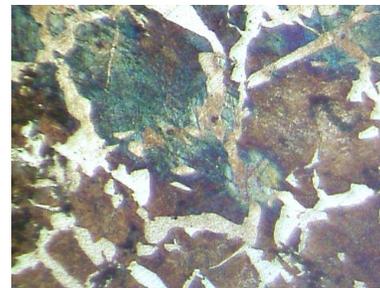


Figura 3 Estructura del acero 1045 en estado de recocido

La rugosidad de los insertos fue medida con un perfilómetro Taylor Hobson. Se realizaron 4 mediciones en la superficie de ataque y 4 en la superficie de incidencia en cada uno de los bordes cortantes de los insertos. Los promedios de las mediciones realizadas a cada uno de los insertos se muestran en la Tabla No. 2. Como se puede observar la cuchilla recubierta nanométricamente presenta un mejor acabado superficial.

Tabla No. 2. Rugosidad de los insertos.

| Insertos | Rugosidad Ra promedio [μm] |
|--|---|
| TiN/TiAlN 300 nanocapas | 0,2070 |
| TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN (Sandvik) | 0,3353 |

Material a elaborar

Como material a elaborar se seleccionó un acero dúctil, con el objetivo de magnificar la deformación plástica secundaria. Con este fin se utilizó un acero AISI 1045 en estado recocido con una dureza de 202 HB. Figura 4 En la Tabla 3 se muestran los resultados del análisis de composición química realizado al material a elaborar, correspondiéndose con un acero AISI 1045

Tabla No. 3. Composición química del acero a elaborar el cual se corresponde con un acero AISI 1045

| C (%) | Si (%) | Mn (%) | P (%) | S (%) | Cr (%) | Mo (%) | Ni (%) |
|-------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| 0.461 | 0.267 | 0.571 | 0.0203 | 0.0315 | 0.06380 | 0.0166 | 0.0772 |

Resultados experimentales

Se tomaron 16 muestras de viruta según diseño experimental. En todos los casos se logró una viruta continua tal como se muestra en la figura 4. Porciones de las mismas fueron preparadas para su análisis metalográfico de acuerdo a la metodología propuesta por Domínguez A. [9].



Figura 4 Muestras de virutas tomadas



Figura 5 Muestra 1. Se puede observar la deformación primaria y la secundaria. Señalado en rojo se encuentra el ezdps. Nital 2%, (400x).

La observación de las muestras para la determinación del ezdps se realizó con microscopía óptica. Con ayuda de una cámara digital y un software especializado (EDn-2.exe) fue posible la medición del espesor de la zona de deformación plástica secundaria.

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos para cada una de las muestras

Tabla 4. Resultados experimentales para cada una de las muestras. Espesor de la zona de deformación plástica secundaria (ezdps).

| Muestra. | V [m/min] | S [mm/rev] | t [mm] | Inserto | ezdps [mm] |
|----------|--------------|---------------|-----------|---|---------------|
| 1. | 80 | 0.26 | 0.25 | TiN/TiAlN | 0.0032 |
| 2. | 80 | 0.26 | 0.4 | TiN/TiAlN | 0.0065 |
| 3. | 80 | 0.43 | 0.25 | TiN/TiAlN | 0.0033 |
| 4. | 80 | 0.43 | 0.4 | TiN/TiAlN | 0.0080 |
| 5. | 150 | 0.26 | 0.25 | TiN/TiAlN | 0.0027 |
| 6. | 150 | 0.26 | 0.4 | TiN/TiAlN | 0.0030 |
| 7. | 150 | 0.43 | 0.25 | TiN/TiAlN | 0.0027 |
| 8. | 150 | 0.43 | 0.4 | TiN/TiAlN | 0.0033 |
| 9. | 80 | 0.26 | 0.25 | TiCN-Al₂O₃-TiN | 0.0097 |
| 10. | 80 | 0.26 | 0.4 | TiCN-Al₂O₃-TiN | 0.0112 |
| 11. | 80 | 0.43 | 0.25 | TiCN-Al₂O₃-TiN | 0.0101 |
| 12. | 80 | 0.43 | 0.4 | TiCN-Al₂O₃-TiN | 0.0127 |
| 13. | 150 | 0.26 | 0.25 | TiCN-Al₂O₃-TiN | 0.0069 |
| 14. | 150 | 0.26 | 0.4 | TiCN-Al₂O₃-TiN | 0.0086 |
| 15. | 150 | 0.43 | 0.25 | TiCN-Al₂O₃-TiN | 0.0090 |
| 16. | 150 | 0.43 | 0.4 | TiCN-Al₂O₃-TiN | 0.0099 |

En la figura 5 se puede observar la micro estructura de la muestra 1. En esta se pueden observar claramente la deformación primaria y secundaria. (Compárese la estructura contra la mostrada en la figura 3). En todas las muestras analizadas fue posible visualizar y medir el espesor de la zona de deformación plástica secundaria. (Tabla No. 4).

3. Análisis de resultados

Para analizar la influencia de los diferentes parámetros del régimen de corte, se graficaron diferentes rectas, partiendo de los datos tabulados en la tabla 4. Cada una de las líneas representadas en las figuras 7,8 y 9 se corresponden con experimentos donde solo se varió el parámetro en estudio, permaneciendo para cada una de las rectas el resto de los parámetros constantes.

Influencia de la velocidad de avance:

Como se puede observar en las Figuras 6, un aumento en la velocidad de avance origina un aumento del Ezdps. Esto se manifiesta tanto para la cuchilla en estudio (nano-capas de TiN/TiAlN) como para la Sandvik convencional.

Estos resultados se pueden explicar por un aumento de la sección transversal de la viruta, por lo que se requerirá una mayor fuerza de corte para su obtención y como resultado la viruta ejercerá una mayor presión en la superficie de ataque de la herramienta, provocando una mayor deformación y espesor de la zona de deformación plástica secundaria. [1, 8]

Como se puede apreciar en el gráfico, las 4 series correspondientes a la cuchilla en estudio poseen espesores de la zona de deformación plástica secundaria inferiores a los presentados en la cuchilla de comparación.

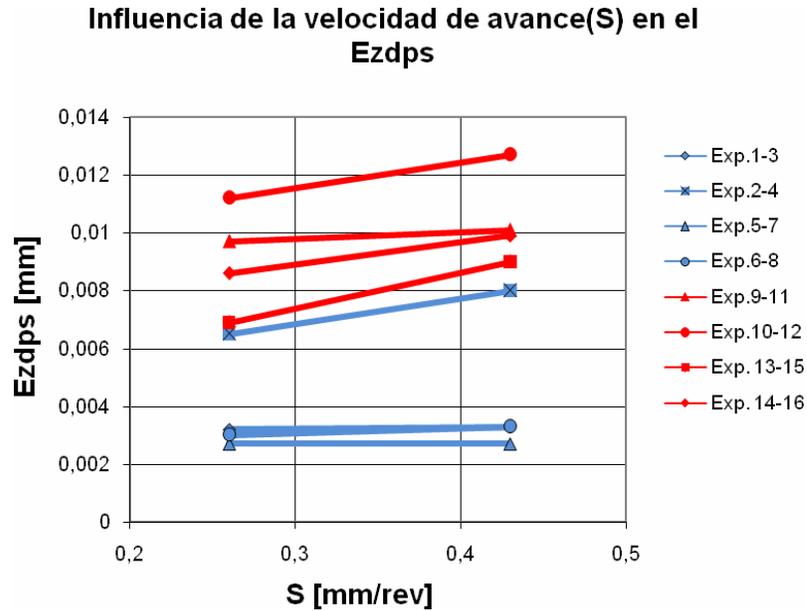


Figura 6. Influencia de la velocidad de avance en el ezdps. Las líneas en azul representan los experimentos realizados con la cuchilla recubierta con nano-capas de TiN-TiAlN y las líneas en rojo los de la cuchilla convencional Sandvik

Influencia de la profundidad de corte (t):

Como se puede observar en las Figura 7 un aumento en la profundidad de corte origina también un aumento del ezdps. Al aumentar t aumenta la sección transversal de la viruta, por lo que al igual que sucede con la velocidad de avance implica fuerzas de corte y consecuentemente deformaciones mayores.

En esta figura también se pueden observar menores valores de deformación para las cuchillas recubiertas con nano-capas, a pesar de seguir la misma tendencia obtenida con la cuchilla Sandvik

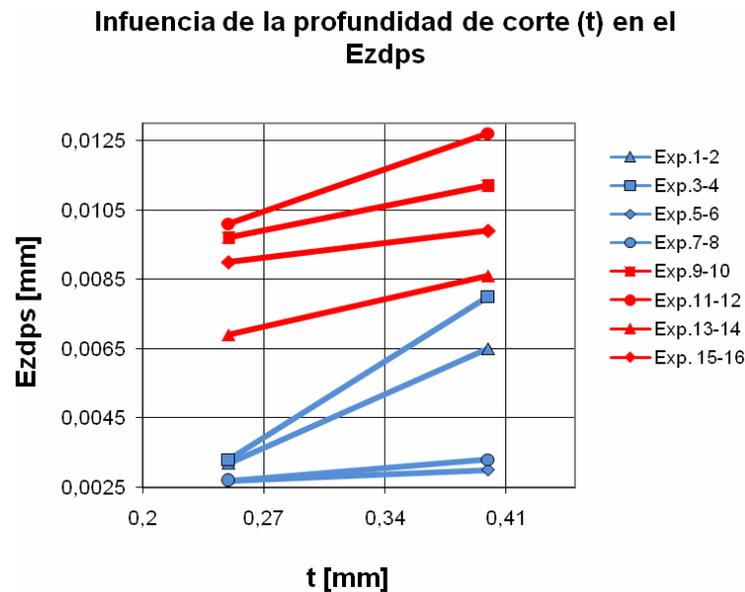


Figura 7. Influencia de la profundidad de corte (t) en el $ezdps$. Las líneas en azul representan los experimentos realizados con la cuchilla recubierta con nano-capas de TiN-TiAlN y las líneas en rojo los de la cuchilla convencional Sandvik

Influencia de la velocidad de corte (V_c):

Uno de los aspectos que influye en el $Ezdps$ es el coeficiente de fricción, el cual disminuye a altas velocidades de corte por acción del incremento de las temperaturas [1, 8, 9]. Esto implica que al aumentar las velocidades de corte por encima de determinados valores el $Ezdps$ disminuye.

Como se observa, las rectas de la figura 8 se corresponden con lo planteado de forma evidente, lográndose un decrecimiento de la deformación plástica secundaria a medida, que aumenta la velocidad de corte. Igualmente se manifiestan menores valores de deformación para la cuchilla recubierta con nano-capas de TiN/TiAlN.

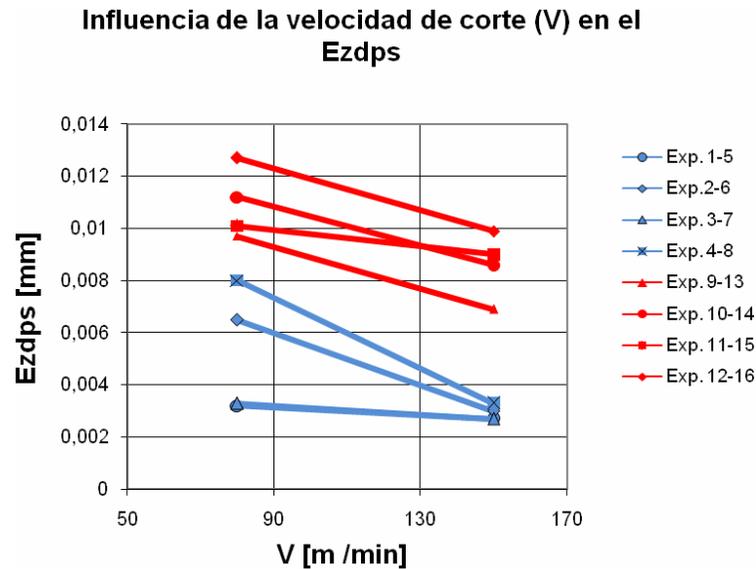


Figura 8. Influencia de la velocidad de corte en el $ezdps$. Las líneas en azul representan los experimentos realizados con la cuchilla recubierta con nano-capas de TiN-TiAlN y las líneas en rojo los de la cuchilla convencional Sandvik

De los resultados obtenidos, expresados en la tabla 4, se puede observar que en la totalidad de los casos, los valores de $ezdps$ fueron inferiores en las virutas obtenidas con los insertos con recubrimiento nano-métrico de TiN/TiAlN, aunque hay que señalar que la tendencia seguida en esta última es la misma que en la cuchilla de comparación (Sandvik).

Esto pudiera explicarse por los valores bajos de rugosidad superficial que presentaron este tipo de placas en comparación con los obtenidos con los insertos de la firma SANDVIK. Bajos valores de rugosidad superficial, implican una disminución de la fuerza de fricción entre la viruta y la superficie de ataque de la herramienta, lo que repercutirá en una menor deformación en la zona secundaria.

4. Conclusiones.

1. Se pudo observar que en todos los experimentos, el $Ezdps$ resultó menor con la utilización de insertos con recubrimiento nanométrico de 300 nano capas de TiN/TiAlN, lo que se explica por los menores valores de rugosidad superficial en sus superficies, provocando una disminución de la fuerza de fricción.
2. La influencia de las variables de corte sobre el $Ezdps$ con la utilización de cuchillas recubiertas con nano-capas de TiN/TiAlN, arrojó resultados que se corresponden con los planteados en la literatura para cuchillas convencionales.

5. Agradecimientos

Los autores quisieran agradecer la invaluable colaboración de la MSc. Elena Fraga Guerra para la realización del diseño experimental.

6. Referencias.

1. **ARSHINOV, V.** *Metal cutting theory and cutting tool design*. Moscú: MIR, 1976.
2. **AURÉLIO DA SILVA, M.** *Experimental inquiry on chip formation in the machining of ABNT 1045 steel and nodular casting iron* Tesis de Maestría. Uberlândia. 2008. [Consultado el: Enero de 2010]
Disponible en: http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/38324846.html
3. **OLAYINKA, O. A.** "Effect of Type of Workpiece Material on Chip Formation Process ". *AU Journal of Technology*. 2008, 11, 3. [Consultado el: Septiembre de 2009].
Disponible en: http://www.journal.au.edu/au techno/2008/jan08/journal113_article07.pdf
4. *Chip Formation during Machining Process. Importance of Studying Chip Formation during Machining*. Suwa Precision,
Disponible en: http://www.suwaprecision.com/machining/machining_technical_articles.html
5. **BEJARANO, G.; et al.** "Recubrimientos duros sobre herramientas de producción en serie obtenidos por plasma assisted physical vapor deposition papvd (magnetron sputtering)". *REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA*. 2004. vol. 36, nº 2.
6. **GRZESIK, W.** "The influence of thin hard coatings on frictional behaviour in the orthogonal cutting process". *Tribology International*. 2000, 33, Disponible en: www.elsevier.com/locate/triboint
7. **BARSHILIA, H. C.;AL, E.** "Structure, hardness and thermal stability of TiAlN and nanolayered TiAlN/CrN multilayer films". *Vacuum*. 2005. vol. 77, p. 169-179.
8. **MARTÍNEZ ANEIRO, F.** *Experimentos para la evaluación de herramientas de corte recubiertas con nanomulticapas* En *X Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales*. Colombia. 2008.
9. **DOMÍNGUEZ, A.** *Metodología de preparación metalográfica para la medición de la deformación plástica secundaria*. Trabajo de Diploma, Dpto. de Tecnología de Construcción de Maquinaria. Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", La Habana. 2009.

Tania Rodríguez – Moliner¹, Mario Jacas – Cabrera¹, Federico Martínez - Aneiro †¹, Yaquelín García – Muñoz²

1. Departamento de Tecnología de Construcción de Maquinaria. Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" – ISPJAE.
Calle 114 #11901 e/119 y 127. Marianao. La Habana. CP 19390. Cuba
Email: tania@mecanica.cujae.edu.cu , jacas@mecanica.cujae.edu.cu

2. Dirección de Transporte. Ministerio del Interior - MININT, Ave Camilo Cienfuegos, Carretera Central. Arroyo Naranjo. Cuba