



INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CORTE NA RUGOSIDADE SUPERFICIAL USANDO REGRESSÃO MÚLTIPLA

YOANDRYS MORALES TAMAYO¹, YUSIMIT ZAMORA HERNÁNDEZ², PATRICIA DEL CARMEN ZAMBRANO ROBLEDO³, ROBERTO FÉLIX BELTRÁN REYNA⁴, JULIO CESAR PINO TARRAGÓ⁵

¹Universidad Técnica de Cotopaxi-Ext La Maná
Avenida de los Almendros y Pujili, Ecuador

²Universidad de Granma

Carretera a Manzanillo km 17 ½, Cuba

³Universidad Autónoma de Nuevo León

Pedro de Alba S/N, Ciudad Universitaria, San Nicolás de Los Garza, México.

⁴Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador

⁵Universidad Técnica de Cotopaxi

Av. Simón Rodríguez S/N, Sector San Felipe. Ecuador

(Recibido 21 de octubre de 2015, revisado 24 de noviembre de 2015, para publicación 15 de febrero de 2016)

Resumo – A rugosidade superficial atualmente joga um papel muito importante na avaliação da qualidade dos produtos. O objetivo deste trabalho é investigar os efeitos dos parâmetros de corte na rugosidade superficial do AISI 316L utilizando dois insertos de corte. Os parâmetros de corte foram comparados utilizando uma análise de variância e de regressão múltipla. Como principais resultados se obtiveram o efeito significativo do avanço de corte, o material dos insertos e o tempo de usinagem, assim como suas interações na rugosidade superficial. Para o inserto classe GC1115o melhor desempenho correspondeu à velocidade de corte de 400 m·min⁻¹, enquanto para o GC2015 foi a 450 m·min⁻¹. A rugosidade superficial manifestou um melhor comportamento para o avanço de 0,08 mm·r-1em todas as velocidades empregadas neste estudo.

Palavras-chave – Torneamento de alta velocidade, Rugosidade superficial, Aço inoxidável AISI 316L, Análise de variância e regressão.

1. INTRODUÇÃO

Na sociedade industrial moderna o aço constitui um material básico para o desenvolvimento, devido a suas versáteis propriedades e possibilidades de reciclado. O aço se aplica em quase todos os setores industriais importantes dedicados à fabricação de peças.

O corte do aço constitui um importante processo industrial muito utilizado na maioria dos países economicamente desenvolvidos. Nos últimos anos o avanço alcançado nas máquinas ferramenta, nas ferramentas de corte e as tecnologias de usinagem tornaram possível a utilização do usinagem de alta velocidade (HSM) [1].

Nos últimos tempos, devido à necessidade de materiais para ferramentas de corte cada vez mais resistentes ao desgaste surgiram materiais avançados que revolucionaram o corte de metais; sustentados na aparição de recobrimentos de pequenas espessuras e nos processos de difusão térmica. A utilização das ferramentas de corte recobertas constitui outra opção para o HSM pelo que se deve continuar estudando seu desempenho [2].

O critério usualmente empregado para avaliar a qualidade da superfície usinada é a rugosidade superficial [3]. Uma das razões pelas quais é importante avaliar a rugosidade superficial é pela influência que tem na precisão dimensional, em tensões residuais da superfície e na diminuição da integridade superficial [4]. A predição da rugosidade superficial na peça é necessária para garantir as condições de corte e as mudanças de ferramentas oportunas [5-6].

Nos últimos anos as investigações relacionadas com a predição da rugosidade superficial aumentaram, fundamentalmente utilizando baixas velocidades e os fluidos de corte enquanto, no usinagem de alta velocidade e em seco os estudos foram limitados. No caso dos aços inoxidáveis austeníticos, Korkut *et al.* [7] estudaram a influência da velocidade de corte (120, 150 y 180 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$) na rugosidade superficial e no desgaste da ferramenta. Como principal resultado obtiveram que a rugosidade superficial diminui com o aumento da velocidade de corte [7].

Em 2006 Ciftci avaliou a rugosidade superficial e as forças de corte para ferramentas recobertas durante usinagem em seco dos aços inoxidáveis AISI 316L e AISI 304 empregando velocidades de corte entre 120 e 210 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. O aço AISI 316L alcançou maiores forças de corte devido aos 2% do Mo presente em sua composição química [8].

Por outra parte, Lin investigou a influência das condições de corte na rugosidade superficial durante o torneamento em seco a altas velocidades de corte dos AISI 303Cu, AISI 303, e AISI 304 em uma longitude de corte de 140 mm. Eles afirmam que o avanço de corte tem uma influência direta na rugosidade superficial, além disso determinaram que para avanços menores a 0,05 $\text{mm}\cdot\text{r}^{-1}$ a velocidade não teve um efeito significativo, pelo contrário para avanços maiores a 0,08 $\text{mm}\cdot\text{r}^{-1}$ [9].

As influências das condições de corte na tensão residual durante usinagem do aço inoxidável AISI 304 foram investigadas pelo Jang e colaboradores. Eles utilizaram velocidades de corte entre 180 e 580 min^{-1} e encontraram que a tensão residual é minimizada quando se utiliza um avanço de 0,08 $\text{mm}\cdot\text{r}^{-1}$, uma profundidade de 1 mm e a uma velocidade de 180 min^{-1} [10].

Em 2009 Xavier e Adithan analisaram o efeito dos fluidos de corte na rugosidade superficial e no desgaste da ferramenta durante a usinagem do aço inoxidável AISI 304. Utilizaram três fluidos, um dos quais foi azeite de coco, além disso determinaram a percentagem de contribuição de cada parâmetro de corte em cada variável e provaram a efetividade deste fluido natural. As velocidades empregadas foram de 38, 61 e 97 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ [11]. Os últimos autores analisados não incluíram velocidades superiores para obter a rugosidade superficial.

Por outro lado, Galanis e Manolakos em 2010 estudaram o efeito das condições de corte na rugosidade superficial na usinagem de cabeças femorais a alta velocidade do aço inoxidável AISI 316L. As velocidades foram 264, 352 e 440 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$, e só tiveram em conta uma longitude de corte de 28 mm. Eles determinaram o nível de significância de cada parâmetro de corte sobre a rugosidade superficial, neste caso afirmam que a profundidade de corte foi o fator que mais influenciou na rugosidade superficial seguida pelo avanço de corte [12].

Çaydas e Ekici realizaram uma rede neuronal para prever a rugosidade superficial da peça usinada, para isso estudaram de maneira experimental o torneamento em seco do aço inoxidável AISI 304 para validar seu modelo numérico, neste caso utilizaram as velocidades de corte de 30, 60 e 90 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ [13]. Nas reflexões realizadas anteriormente se pode concluir que a usinagem de alta velocidade é uma tendência que vai em subida e que além muitos aspectos ainda estão sendo investigados. As principais investigações se centralizam no estudo de desgaste da ferramenta, as forças de corte e os menos estudados são as vibrações mecânicas, as deformações superficiais e a rugosidade superficial na usinagem de alta velocidade e em seco dos aços inoxidáveis.

Tendo em conta, esta investigação tem como objetivo investigar a evolução da rugosidade superficial a respeito do tempo de usinagem de dois insertos de carboneto recobertos durante o torneamento em seco a altas velocidades do aço inoxidável AISI 316L.

2. DESENVOLVIMENTO

A seguir se descrevem os elementos que se tiveram em conta para determinar o critério para o acabamento, além da caracterização das ferramentas de corte utilizadas e da proveta utilizada na experimentação. Analisa-se a montagem experimental e o desenho da investigação.

2.1. Procedimento experimental

A qualidade superficial é avaliada frequentemente mediante a rugosidade superficial que alcança a superfície da peça usinada, neste caso a Norma ANSI/ASME B94.55M recomenda os seguintes valores da



Fig. 1. Rugosímetro CARL ZEISS modelo SURFCOM 1500SD2.

Tabela 1. Composição química do material da peça.

Elementos	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S	N
Comp %	0,015	0,58	1,50	16,95	2,05	10,08	0,031	0,029	0,059

Ra: 0,4-0,8-1,6-3,2-6,3-12,5 μm . Para determinar a rugosidade superficial da peça se mediaram três medições realizadas por cada superfície com o rugosímetro marca Carl ZEISS SURFCOM (ver Fig. 1).

2.2. Material da peça

O material empregado corresponde ao aço inoxidável austenítico AISI 316L, este se utiliza para fabricar equipamentos para processos químicos e alimentícios, na indústria aeroespacial, na automobilística, na indústria biomédica para implante médicos, utensílios cirúrgicos e na fabricação e a manutenção de máquinas para o processamento de alimentos ácidos [14]. A composição química do aço AISI 316L se pode observar na tabela 1.

2.3. Material da ferramenta de corte e máquina-ferramenta

Utilizaram-se os insertos recobertos com marcação do Sandvik, PVD GC1115-M15 e CVD GC2015-M15. Na tabela 2 se indicam os resultados do estudo realizado no microscópio eletrônico de varrido marca JEOL (ver Fig. 2) para determinar o tipo e espessura do recobrimento. A geometria seleccionada para os dois insertos foi CCMT 12 04 04-MF com rompevirutas. O suporte da ferramenta tem marca Sandvik

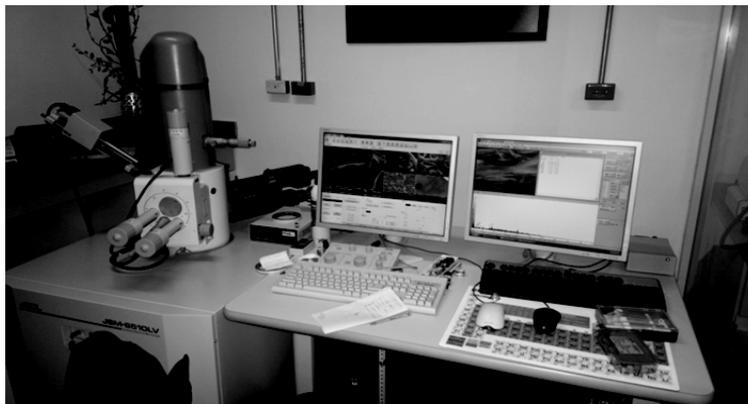


Fig 2. Microscópio electrónico de varrido marca JEOL modelo JSM-6510LV.



Fig. 3. Torno multifuncional CNC marca Okuma modelo Multus B-200W.

Tabela 2. Identificação, tipo e espessura do recobrimento dos insertos.

Inserto	Primeira capa	Segunda capa	Terceira capa	Espesura (μm)
1	TiN	-	-	5
2	TiN	Al_2O_3	Ti(N,C)	15

de código C6-SCLCL-45065-12 e um adaptador com código C6-391.01-63 060, o ângulo de incidência principal foi de 7° , o ângulo de ataque foi de 0° e o raio da ponta foi de 0,4 mm. Realizou-se a inspeção prévia de cada fio de corte em um microscópio óptico NIKON EPIPHOT com uma ampliação de 100X para detectar defeitos visuais como fragmentos ou rachaduras. Além disso foi medida a dureza dos insertos em cinco pontos diferentes na superfície de ataque com um microdurómetro marca SHIMADZU, obteve-se como médios: 1755 HV para o inserto GC1115 e 1404 HV para o inserto GC2015

A máquina ferramenta utilizada se pode observar na Fig. 3, a mesma corresponde a um Torno-milling CNC marca Okuma modelo Multus B-200W com uma potência do motor de 15 kW, a rotação máxima de 5000 min^{-1} e o peso máximo que suporta sobre o lado esquerdo é de 110 kg.

2.4. Procedimento experimental

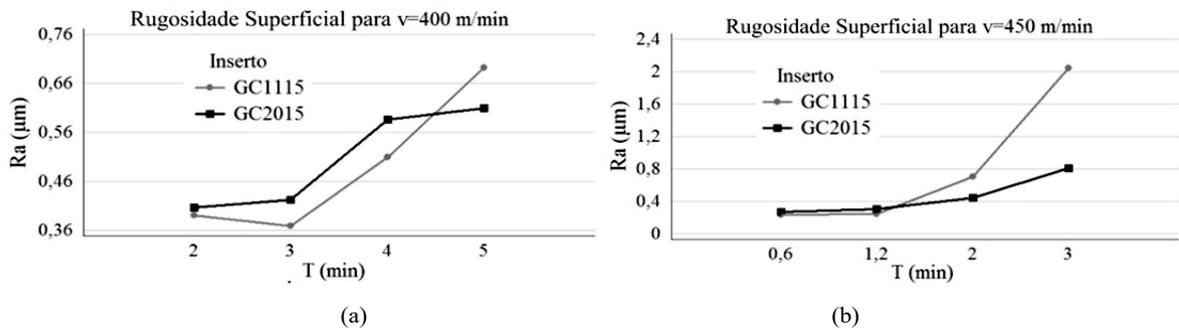
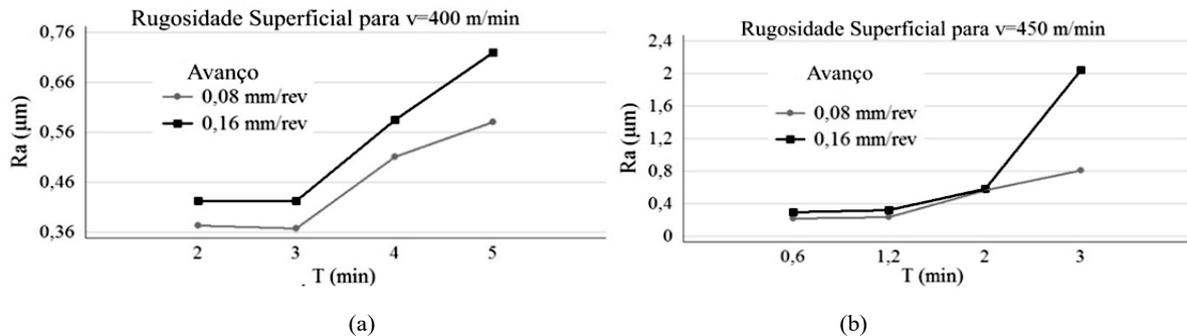
A investigação consistiu em determinar a rugosidade superficial (R_a) gerada por dois insertos durante o torneamento de acabamento em seco a altas velocidades de corte com dois avanços diferentes. Pelas condições da máquina ferramenta que não possui contraponto, a peça se montou no prato de três mordças somente. Manteve-se constante a profundidade de corte em todas as provas (0,3 mm), na tabela 3 aparecem as variáveis estudadas.

Os experimentos foram realizados utilizando dois níveis de velocidades de corte (v), quatro níveis de tempo (T), dois níveis de avanços de corte (f) e dois níveis de material da ferramenta. O experimento se desenvolveu com duas réplicas para a aquisição da informação necessária, em total foram 64 ensaios. Realizaram-se provas iniciais para determinar o estado dos instrumentos de medição, das máquinas e do pessoal encarregado da experimentação.

Fez-se um torneamento cilíndrico a peça começando com um fio novo e o corte foi interrompido cada certo tempo (tabela 3) para medir a rugosidade superficial utilizando um rugosímetro marca Carl ZEISS SURFCOM. A medição da rugosidade superficial foi efetuada de acordo à norma ISO 97 e se selecionaram de forma aleatória várias peças de aço inoxidável AISI 316L para evitar qualquer efeito de confusão entre as mesmas.

Tabela 3. Variáveis consideradas no estudo.

Variável	Tipo de variável	Medida
Rugosidade superficial da peça	Dependente	Rugosidade superficial (μm)
Material da ferramenta	Independente	Carboneto recobertos PVD GC 1115-M15 y CVD GC2015-M15
Velocidade de corte	Independente	400 y 450 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
Avanço de corte	Independente	0,08 y 0,16 $\text{mm}\cdot\text{r}^{-1}$
Tempo de corte	Independente	Tempo em (min). Quatro medições (2, 3, 4, 5 para 400 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$) y (0,6; 1,2; 3; 4 para 450 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)

Fig. 4. Evolução da rugosidade superficial (a) para 400 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ e (b) 450 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$.Fig. 5. Evolução da rugosidade superficial gerada pelos avanços de corte empregados no estudo (a) para 400 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ e (b) 450 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ de velocidade de corte.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo do trabalho é avaliar a evolução da rugosidade superficial respeito ao tempo de usinagem de dois inserts de carboneto recoberto para duas velocidades e dois avanços de corte durante o torneamento em seco do aço inoxidável AISI 316L.

Na Fig. 4a) mostra-se a evolução a rugosidade superficial gerada pelos inserts para $v = 400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, aprecia-se um melhor comportamento do inserto GC1115 até 4 min de corte. Para os 5 min de usinagem o inserto classe GC2015 obteve o melhor resultado quanto à rugosidade superficial. Para a velocidade de corte de 450 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ (Fig. 4b)) o melhor desempenho até 1,2 min de corte foi também para o inserto GC1115, por outro lado, para os tempos restantes o inserto GC2015 gerou uma rugosidade superficial menor.

Tabela 4. Análise de variância fatorial da rugosidade superficial para $v=400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

Fonte	Soma de quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	Quociente-F	p-valor
Avanço de corte	0,05324	1	0,05324	203,14	0,0000
Tempo de usinagem	0,33091	3	0,11030	420,86	0,0000
Inserto-Tempo	0,03399	3	0,01133	43,24	0,0007
Resíduo	0,00497	19	0,00026		
Total (corrigido)	0,44251	31			

Tabela 5. Análise de variância fatorial da rugosidade superficial para $v=450 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

Fonte	Soma de quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	Quociente-F	p-valor
Avanço de corte	0,981786	1	0,981786	8,96	0,0060
Inserto	0,957347	1	0,957347	8,74	0,0051
Tempo de usinagem	7,27193	3	2,42398	9,37	0,0000
Avanço- Inserto	0,787858	1	0,787858	7,19	0,0150
Avanço- Tempo	1,96402	3	0,654674	5,98	0,0018
Inserto-Tempo	2,20341	3	0,734471	6,71	0,0026
Resíduo	2,08085	19	0,109518		
Total (corrigido)	16,2472	31			

Tabela 6. Análise de regressão da rugosidade superficial para os insertos para $v=400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

Inserto	Tipo	Equação do modelo ajustado	R ² (%)
GC1115	Lineal	$Ra = -0,03269 + 0,104565 * T + 1,30156 * f$	76,22
	Polinomial	$Ra = 0,123798 + 1,30156 * f + 0,0155178 * T^2$	83,62
	Exponencial	$Ra = 0,201624 + 0,00228497 * e^{(T)} + 1,30156 * f$	88,73
GC2015	Lineal	$Ra = 0,151205 + 0,69 * f + 0,07767 * T$	81,81
	Polinomial	$Ra = 0,275298 + 0,0109446 * T^2 + 0,69 * f$	80,82
	Exponencial	$Ra = 0,340639 - 0,001425 * e^T + 0,69 * f$	65,94

Observou-se que a maior velocidade de corte a ferramenta GC2015 teve um melhor desempenho quanto à rugosidade superficial, apesar de apresentar menor dureza, mas isto se deve a que possui três recobrimentos específicos para melhorar a mecânica de corte. A capa composta por Ti(N,C) proporciona-lhe resistência ao desgaste e estabilidade térmica [15], a capa de Al_2O_3 lhe subministra resistência ao calor e ao desgaste da cratera e o recobrimento do TiN lhe contribui com resistência ao calor e um baixo coeficiente de fricção [16-17]. Além disso a ferramenta de maior dureza só apresenta um recobrimento $5 \mu\text{m}$ de espessura enquanto que a soma dos recobrimentos do inserto de três capas alcança $15 \mu\text{m}$ de espessura.

O melhor desempenho quanto ao valor da rugosidade superficial o alcançou o avanço de $0,08 \text{ mm}\cdot\text{r}^{-1}$ para o tempo de corte avaliado quando se utilizou a velocidade de corte de $400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ (Fig. 5a)). Na Fig. 5b) observa-se um igual comportamento do avanço $0,08 \text{ mm}\cdot\text{r}^{-1}$ mas esta vez com uma velocidade de corte de $450 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ y 3 min de tempo de usinagem. Este comportamento obtido neste estudo, onde a rugosidade superficial aumenta com incremento do avanço de corte está em correspondência com os expresso por Galanis e Manolacos [12] e além por Asiltürk e Neşeli [5].

A análise de variância do estudo experimental realizado se apresenta na tabela 4 e 5 respectivamente. Mediu-se a contribuição de cada factor eliminando os efeitos do resto dos factores. A importância significativa das variáveis para 95% de confiança se comprova determinando os valores inferiores a 0,05. Durante o corte com a velocidade de $400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ resultaram significativos dois efeitos principais e a interação entre estes, não sendo assim para a maior velocidade de corte onde resultaram significativos todos os efeitos principais e suas respectivas interações, conclusão similar obtida por Galanis e Manolacos [12] e Hamdan *et al.* [18] quando tornearam o aço inoxidável AISI 316L para elaborar cabeças de fêmures.

Tabela 7. Análise de regressão da rugosidade superficial para os insertos para $v = 450 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Inserto	Tipo	Equação do modelo ajustado	R ² (%)
GC1115	Lineal	$Ra = -1,49254 + 8,24766 * f + 0,770217 * T$	59,39
	Polinomial	$Ra = -0,994114 + 8,24766 * f + 0,219173 * T^2$	66,14
	Exponencial	$Ra = -5,3757 + 4,99559 * e^{T*f}$	81,64
GC2015	Lineal	$Ra = -0,00769506 + 0,690625 * f + 0,224688 * T$	86,63
	Polinomial	$Ra = 0,141113 + 0,690625 * f + 0,0630168 * T^2$	94,54
	Exponencial	$Ra = 0,134694 + 0,690625 * f + 0,0293813 * e^T$	95,58

Tabela 8. Parâmetros utilizados na validação experimental dos modelos.

400 m·min⁻¹				
Inserto	Equação do modelo ajustado	Parâmetros	Ra (modelos)	Ra (experimental)
GC1115	Ra	$f= 0,1 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$	Ra= 0,484156 μm	Ra= 0,3978046 μm
	$= 0,201624 + 0,00228497 * e^{(T)} + 1,30156 * f$	T= 4,2 min		
GC2015	Ra	$f= 0,14 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$	Ra= 0,51965 μm	Ra= 0,6347447 μm
	$= 0,151205 + 0,69 * f + 0,07767 * T$	T= 3,5 min		
450 m·min⁻¹				
GC1115	$Ra = -5,3757 + 4,99559 * e^{T*f}$	$f= 0,09 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ T= 2,4 min	Ra= 0,8243 μm	Ra= 0,9044176 μm
GC2015	$Ra = 0,134694 + 0,690625 * f + 0,0293813 * e^T$	$f= 0,15 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ T= 1,9 min	Ra= 0,4347 μm	Ra= 0,3880846 μm

Tabela 9. Erros médios absolutos (%) obtidos pelos modelos em relação aos valores experimentais.

Velocidade	Inserto	Erro (%)
400	GC1115	17,8354
	GC2015	22,1485
450	GC1115	9,7143
	GC2015	6,3229

Para validar a efetividade das equações de predição se realizaram testes experimentais para cada inserto tendo em conta os parâmetros de corte estimados por estas equações. Tomaram as seguintes equações com os resultados que se mostram na tabela 8. A exatidão e precisão de um modelo são avaliadas e comprovadas usualmente pela equação 1 [16,20].

$$E_{\text{medio}} = \left(\frac{1}{N} \sum_i^N \left| \frac{t_i - t_o}{t_o} \right| \times 100 \right) \quad (1)$$

Onde: E_{medio} , erro medio absoluto.

t_i , são os valores reais obtidos por experimentação.

t_o , são os valores preditos pelo modelo avaliado em questão.

Os erros médios absolutos dos modelos obtidos se mostram na tabela 9. Nela se pode apreciar que os modelos alcançaram erros médios absolutos menores a 25%.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nesta investigação, expõem-se as seguintes conclusões:

- O avanço de corte, o tempo de usinagem, os insertos de corte e as interações resultaram ser factores significativos com 95% de confiança para o usinagem em seco a velocidades intermédias e altas. Obtiveram-se as equações de regressão para cada inserto de corte utilizado neste experimento.
- Para o inserto GC1115 o melhor desempenho correspondeu à velocidade de corte de $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, enquanto para o GC2015 foi a $450 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. A consequência das capas que possui, que lhe proporciona resistência ao desgaste, estabilidade térmica, resistência ao calor e um sob coeficiente de fricção.
- Encontrou-se que a rugosidade superficial aumentou com o tempo de usinagem para as velocidades de corte estudadas, enquanto para o avanço de corte a melhor tendência se alcançou com $0,08 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a SEP por proporcionar a bolsa de estudo pós-graduada de investigação na Universidad Autonoma de Nuevo Leon (UANL) no México. Lhe agradece ao Centro de Investigação e Inovação em Engenharia Aeronáutica pelo apoio financeiro e tecnológico além por todas as facilidades brindadas para o desenvolvimento do trabalho de investigação. Agradece-se ao Departamento de Ciências Técnicas da Universidade da Granma pelo apoio brindado.

REFERÊNCIAS

- [1] Hernández, L.W. *et al.* "Estudio del desgaste del flanco de carburos recubiertos y cermet durante el torneado de alta velocidad en seco del acero AISI 1045", *Revista de Metalurgia*, 3, 262-272 (2011)
- [2] Sahoo, A.K., Sahoo, B., "Experimental investigations on machinability aspects in finish hard turning of AISI 4340 steel using uncoated and multilayer coated carbide inserts", *Measurement*, 8, 2153-2165 (2012)
- [3] ANSI/ASME B94.55M, "Tool-life testing with single-point turning tools", American National Standard, New York (1985)
- [4] Suresh, R., Basavarajappa, S., Samuel, G.L., "Some studies on hard turning of AISI 4340 steel using multilayer coated carbide tool", *Measurement*, 7, 1872-1884 (2012)
- [5] Asiltürk, İ., Neşeli, S., "Multi response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis", *Measurement*, 4, 785-794 (2012)
- [6] Campos, P.H.S. *et al.*, "Modelagem da rugosidade e da vida da ferramenta no torneamento do aço duro ABNT 52100 com cerâmica mista wiper utilizando metodologia de superfície de resposta". *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, **19**(1), 71-86 (2015)
- [7] Korkut, I. *et al.* "Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel", *Materials & Design*, 4, 303-305 (2004)
- [8] Ciftci, I., "Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools". *Tribology International*, 6, 565-569 (2006)
- [9] Lin, H.M., "The study of high speed fine turning of austenitic stainless steel", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2, 191-194 (2008)
- [10] Jang, D.Y. *et al.*, "Surface residual stresses in machined austenitic stainless steel", *Wear*, 1-2, 168-173 (1996)
- [11] Xavier, M.A., Adithan, M., "Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 2, 900-909 (2009)
- [12] Galanis, N., Manolakos, D., "Surface roughness prediction in turning of femoral head", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1, 79-86 (2010)

- [13] Çaydaş, U., Ekici, S., "Support vector machines models for surface roughness prediction in CNC turning of AISI 304 austenitic stainless steel", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 3, 639-650 (2012)
- [14] Nalbant, M. y Yildiz, Y. "Effect of cryogenic cooling in milling process of AISI 304 stainless steel", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 1, 72-79 (2011)
- [15] Lee, S.M. *et al.*, "Friction drilling of austenitic stainless steel by uncoated and PVD AlCrN- and TiAlN-coated tungsten carbide tools", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 1, 81-88 (2009)
- [16] Suresh, R. *et al.*, "Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert", *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 75-86 (2012)
- [17] Marques, F.M. *et al.*, "Caracterização de Desgaste de Brocas de HSS Revestidas com AlCrN E Não Revestidas, Em Ensaios de Furação, na Usinagem de Ferro Fundido Nodular DIN GGG 50", *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 19(1), 87-104 (2015)
- [18] Hamdan, A., Sarhan, A., Hamdi, M., "An optimization method of the machining parameters in high-speed machining of stainless steel using coated carbide tool for best surface finish", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1, 81-91 (2012)
- [19] Hasçalık, A., Çaydaş, U., "Optimization of turning parameters for surface roughness and tool life based on the Taguchi method", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 9, 896-903 (2008)
- [20] Asiltürk, I., Çunka, M., "Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method", *Expert Systems with Applications*, 5826-5832 (2011)

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CUTTING PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS USING MULTIPLE REGRESSION

Abstract – The superficial roughness lately plays a very crucial role in the evaluation of the quality of products. The aim of this study is to investigate the cutting parameter effects in the AISI 316L superficial roughness using two cutting inserts. The cutting parameters were compared using analysis of variance and multiple regressions. As a main result it was obtained the significant effect of the cutting feed, the material of the inserts and the machining time, and interaction in the superficial roughness as well. For the GC1115 insert class the best performance was equal to cutting speed of $400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ mean while the GC2015 was $450 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. The superficial roughness showed the best behavior with a feed of $0.08 \text{ mm}\cdot\text{r}^{-1}$ in all the speeds used in this study.

Keywords – High speed turning, Superficial roughness, Stainless steel AISI 316 L, Analysis of variance and multiple regressions.