

APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA G.P.S AL CÁLCULO DE RENDIMIENTO DE MAQUINARIA

A. DE LA MATA MARTÍNEZ*

*DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL MEDIO AMBIENTE. UNIVERSIDAD DE VIGO-E.U. DE INGENIERÍA FORESTAL-CAMPUS UNIVERSITARIO-36005 PONTEVEDRA

RESUMEN

Se presenta un nuevo método para calcular la productividad basado en obtener las coordenadas GPS de la posición de la máquina en intervalos de tiempo de 5 seg. Conocidas éstas, se deduce la distancia y velocidad entre dos puntos consecutivos. Agrupando en clases la distancias elementales, obtenemos el rendimiento bajo diferentes condiciones de trabajo.

P.C: Productividad, GPS, Maquinaria, Sistema de Posicionamiento Global

SUMMARY

A new method is presented to calculate the productivity, based on obtaining the coordinates GPS of the position of the machine in intervals of time of 5 seconds. Well-known the coordinates, it is deduced the distance and speed between two serial points. Containing the elementary distances in classes, we obtain the productivity under different work conditions.

K.W: Productivity, machinery, GPS, Global Positioning System

INTRODUCCIÓN

Entre las dificultades que encuentra la ingeniería de los recursos naturales en sus procesos de transformación mecanizada del medio, ofrece una especial relevancia el cálculo de rendimiento de sus dispositivos, no solo en la planificación sino en la valoración económica de las inversiones.

En la literatura consultada, observamos que la mayoría de los trabajos que evalúan rendimientos consideran parcelas de mas o menos extensión y tiempo invertido en su tratamiento (Ryans M-1986, Dostal D-1985, Mc Morland-1985). Asi mismo las productividades calculadas se sitúan en márgenes muy amplios. Hakkila (1980) para volumen de madera extraída, ofrece resultados que oscilan en un 220% y Richardson (1994) para nº de árboles procesados 150%. De la bibliografía manejada, solo Pollini et all.(1989), Hayrinen (1984), Meng C (1984) consideran algún factor del terreno (pendiente y longitud de la linea de trabajo) para matizar los rendimientos. Algunos autores, Sobhany et all. (1991), Meng C (1984) desarrollan modelos de regresión que otorgan al rendimiento una mayor precisión, relacionada con diversas fuentes de variación, pero en cualquier caso los valores que sirvieron para ajustar los referidos modelos correspondían a resultados globales.

Así mismo las productividades se refieren con carácter general a trabajo efectivo, sin contemplar tiempos muertos, factor siempre presente y en numerosos casos determinante tanto de la rentabilidad económica como de la competitividad de la máquina.

Entendemos que el procedimiento para obtener unos valores de rendimiento más ajustados, debería dirigirse en sentido contrario al seguido habitualmente para su determinación. Aun cuando el sistema tradicional ha tratado de encontrar un rendimiento que representara la media de todas las características y circunstancias en las que la máquina iba a desarrollar su trabajo, pensamos que su análisis debe abordarse en base a la suma de comportamientos puntuales, como alternativa al promedio de los mismos.

MÉTODO DE TRABAJO

Se diseña un nuevo procedimiento basado en la síntesis de rendimientos, obtenidos sobre distancias elementales, definidas como el desplazamiento producido en intervalos de tiempo reducidos (velocidad cuasi-puntual). Los desplazamientos elementales que tienen una característica común son agrupados en clases. Una clase viene definida por la superficie de terreno que reúne alguna de las características elementales que queremos evaluar (pendiente, tipo de suelo, vegetación etc.)

El procedimiento se desarrolla mediante la utilización de un equipo G.P.S. (Global Positioning System), capaz de obtener las coordenadas de posición de una antena, a intervalos de tiempo predeterminados, con precisión de cm. a partir de las cuales se obtiene su distancia.

MATERIAL Y MÉTODOS

La máquina a evaluar es un tractor agrícola de 38 Cv. provisto de un arado de vertedera de una reja, que produce un ancho de trabajo de 0.30 m. manipulado por un operario experto en su manejo. La elección del equipo G.P.S. requiere una cierta discusión, dentro de las opciones disponibles. Esta tecnología dispone a grandes rasgos de tres tipos de posicionamiento: Autónomo, con precisiones de 100 m, diferencial de 2 a 5 m. y lectura de fase con precisiones subcentimétricas. Por cuestiones de espacio se omite la discusión sobre el procedimiento elegido, adoptando el de lectura de fase.

Se utilizó un equipo Trimble 4000 II-Land Surveyor en cinemático continuo, posicionando las líneas base de inicialización en puntos derivados de la red Euref, que efectuó determinaciones de posición cada 5 seg.

En consecuencia el método consta de los siguientes pasos:

- 1/ Replanteo sobre el terreno del área de trabajo
- 2/ Fijación del entorno dimensional del ensayo
- 3/ Instalación e inicialización de equipos y ejecución del trabajo
- 4/ Postprocesado
- 5/ Cálculos y agrupación de datos

- Replanteo sobre el terreno del área de trabajo: Con objeto de simplificar los cálculos y sobre todo darles mayor claridad expositiva se ha adoptado como parcela de ensayo una superficie de forma rectangular ABCD (fig.2), replanteada mediante una escuadra óptica y medida por posicionamiento del equipo móvil en sus cuatro vértices. La operación de replanteo y medición duró 30 minutos.

Una vez obtenidas las coordenadas de los puntos A,B,C,D, se puede proceder a evaluar sus dimensiones, superficie, etc. En el caso que nos ocupa resultó un rectángulo con el eje AD de 91,436 m. y el AB de 114,635 m.

Con posterioridad se procede a estacionar en los puntos que determinan la línea que separa los dos tipos de terreno considerados.

- Fijación del entorno dimensional: Las coordenadas proporcionadas por GPS, denominadas WGS84, constituyen una forma de coordenadas geográficas sobre un elipsoide

propio del sistema, procediéndose posteriormente a su transformación en coordenadas UTM. Podrían utilizarse igualmente las coordenadas cartesianas propias de GPS, puesto que en virtud de los teoremas de Gauss y Legendre, y dadas las dimensiones de la parcela, se puede asimilar la superficie real esférica a una superficie plana, sin variación apreciable (inferior al mm.).

Las coordenadas UTM, con origen en el ecuador, presentan valores muy elevados, incómodos de manejar, por lo que fue adoptado un sistema local tridimensional de coordenadas cartesianas, con origen en el punto A, eje x el eje AD, eje y el AB y eje z la paralela a la dirección de la cota ortométrica. Así mismo por motivos de clasificación de los distintos puntos que determinan la trayectoria de la máquina, interesa que el eje y sea paralelo a su línea de trabajo. El paso de las coordenadas generales aportadas por el sistema a las locales utilizadas en nuestros cálculos se reducen a un movimiento en el espacio, integrado por una translación y un giro. Los parámetros que definen la matriz de cambio son las coordenadas del punto A y el acimut del eje AB, todo ello aportado por las mediciones preliminares.

- Instalación e inicialización de los equipos y ejecución del trabajo: Se estacionaron los dos receptores (referencia y móvil) en los puntos de coordenadas conocidas según se refirió con anterioridad, procediendo posteriormente a inicializar el procedimiento cinemático continuo en postprocesado. Una vez producida la inicialización se instaló el móvil sobre la máquina a valorar. Fijada la antena y el receptor sobre el tractor, se procedió a realizar la labor de labrado de la parcela trazando besanas paralelas al eje y

- Postprocesado: Efectuado el postprocesado de los datos brutos registrados por los receptores (aplicando el software propio de GPS) obtuvimos los puntos que marcan la trayectoria seguida por el tractor, identificados por un número de orden y sus coordenadas x,y,z. tomados a intervalos de 5 segundos.

- Cálculos y agrupación de datos: Definimos los siguientes parámetros: Donde d_i representa

$$\begin{aligned} \text{distancia } d_i &= \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2} \\ \text{pendiente } p_i &= \frac{z_{i+1} - z_i}{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}} & \text{velocidad } v_i &= \frac{d_i}{5} \\ \text{distancia total por clase } d_c &= \sum d_i & \text{vel. media por clase } v_c &= \frac{\sum d_i}{5x n_i} \end{aligned}$$

la distancia, p_i la pendiente y v_i la velocidad del tractor; entre los puntos i e $i+1$; d_c la suma de los tramos recorridos dentro de una determinada clase c , n_c el número de tramos recorridos en la misma y v_c la velocidad media alcanzada. Del conjunto de distancias tenemos que distinguir las que son de trabajo efectivo y las que corresponden a tiempos muertos. La bibliografía clásica (Ryans, Dostal, Mc. Morland, Pollini etc) solo se refiere a trabajo efectivo, al valorar rendimientos, sin hacer referencia a tiempos muertos, que constituyen un factor esencial a la hora de predecir productividades económicas. El método que se propone es capaz de medir de forma automática los tiempos muertos. Si la máquina esta parada, dos puntos consecutivos tendrán las mismas coordenadas por no sufrir desplazamiento la antena del receptor móvil, con lo que su distancia será 0. En el mismo sentido cuando el movimiento sea de maniobra para cambiar de surco, su distancia será muy reducida, por lo que estableciendo un umbral mínimo de la velocidad de la máquina en régimen de trabajo, que en nuestro caso fue cuantificado en 0,4 m/s, los pares de puntos que presenten velocidad inferior

(o distancia inferior a 2 m.), serán tramos de trabajo no efectivo e incluso dentro de éstos se puede distinguir los que son de maniobra (velocidad distinta de 0) y los de detención (velocidad igual a 0) por atasco o girado del revolver de la vertedera.

Para la agrupación de puntos se establecen los siguientes criterios (Aplicables en la programación mediante operadores lógicos):

Pendiente:	$p_i > +20\%$ -clave A	Tipo de trabajo:	$d_i > 0,4$ m/s trabajo efectivo- clave E
	$+10\% \leq p_i < +20\%$ -clave B		$0 < d_i < 0,4$ m/s maniobra-clave M
	$0 \leq p_i < +10\%$ -clave C		$d_i = 0$ detención-clave D
	$-10\% \leq p_i < 0$ -clave D	Tipo de terreno:	$0 < y_i < f_q(x_i)$ terreno suelto-clave S
	$-20\% \leq p_i < -10\%$ clave E		$f_q(x_i) < y_i < 114,64$ terreno compacto-clave C
	$p_i < -20\%$ clave F		

El tipo de terreno nos viene limitado por la línea poligonal 1-2-3-4-5 (fig.2) en la que dos puntos consecutivos definen la ecuación de una recta $f_q(x_i)$ que pasa por los mismos. Como hemos obligado a que el eje y sea paralelo a la dirección de marcha del tractor; para un determinado valor de x_i (separación entre un surco y el inicial) si el valor de y_i es inferior al determinado por la ecuación de la recta $f_q(x_i)$, pertenece a un recinto y si es superior a otro.

RESULTADOS

Tras el procesado y clasificación automática de los datos se obtuvieron un total de 1761 puntos en un periodo de 2h 26 m. 50 s. con los que se confeccionó una matriz en la que las filas estaban integradas por cada uno de los puntos y la columnas por las distintas variables consideradas. Por cuestiones de espacio no se detalla la matriz completa, exponiéndose en la tabla I un fragmento de su contenido. Como valor de cada variable se refleja la clase en la que ha sido clasificado cada punto.

La tabla II presenta los resultados clasificados y procesados, demostrando por un lado la viabilidad del procedimiento y por otro las características de rendimiento del tractor, bajo distintas condiciones de trabajo. Los resultados que se exponen no son más que una parte de sus posibilidades, puesto que podrían obtenerse datos de productividad bajo diversas condiciones.

Haciendo referencia a costos del procedimiento podemos añadir que el presente trabajo lo podría haber ejecutado una persona sola (replantando la parcela con RTK en lugar de con escuadra óptica) en el plazo de una mañana, siempre que supiera manejar el tractor, el GPS y el ordenador.

CONCLUSIONES

Utilizando la tecnología GPS se puede calcular el rendimiento de una máquina con carácter puntual, permitiendo deducir su productividad bajo diversas condiciones y combinación de variables.

En el caso analizado se determina de forma clara los siguientes aspectos:

a/ La enorme influencia de los tiempos muertos sobre el resultado final
 b/ La natural diferencia de rendimiento según la magnitud e inclinación de la pendiente, pero en este sentido cabe destacar como a partir del 10% descendente, éste casi no varía. Con los datos obtenidos no presenta ninguna dificultad ajustar una recta de regresión que relacione pendiente y rendimiento, pudiendolo complementar mediante regresión múltiple con otras variables.

c/ El volumen de datos obtenido (1761 puntos) permite utilizar procesos estadísticos con garantía

d/ Las diferencias de rendimiento en trabajo efectivo alcanzan un 260% de variación. Entre productividad global y efectiva supone el 220% (considerando como referencia la cifra inferior)

BIBLIOGRAFÍA

- DOSTAL, D (1985). *A new logging system for smallwood on steep slopes*. Holz-Zentralblatt 1985,111:113,1610-1612
- HAKKILA, P; WOJCIK, T (1980). *Thinning young pine stands with the Markeri tractor in Poland*. Folia-Forestalia, Institutum Forestale Fenniae. 1980, n° 433, 29 pp.: 8 pl
- HAYRINEN, M (1984). *Farmi farm loader in forest haulage of thinning timber*. Tyotehoseuran Metsatiedotus-Finland 1984 n° 384 5 pp
- HOFMANN-WELLENHOF, B; LICHTENEGGER, H; COLLINS, J (1994). *GPS Theory and Practice*. Springer-Verlag Wien New York
- Mc MORLAND, B (1985). *Production and performance of mechanical felling equipment on coastal B.C.:Timbco feller buncher with RotoSaw head*. Technical Note, Forest Engineering Research Institute of Canada 1985-N° TN-85, 22 pp
- MENG Ch (1984). *A model for predicting logging machine productivity*. Canadian Journal of Forest Research. 1984, 14:2, 191-194
- NUÑEZ GARCIA DEL POZO, A; VALBUENA DURÁN, JL; VELASCO GÓMEZ, J (1992). *GPS La Nueva Era de la Topografía*. Ediciones Ciencias Sociales
- POLLINI, C; LEONELLI, G; GIOS, G; OLIVARI, M (1989). *Introducción of appropriate logging methods: a work study with a mobile skyline crane*. Quaderni Istituto per la Tecnología del Legno. 1989 N° 18, 7-33
- RYANS, M (1986). *Evaluation of the Bracke Badger patch scarifier*. Technical Report, Forest Engineering Research Institute of Canada. 1986, N° TR-65, v+45pp
- SOBHANY, H; STUART, WB (1991). *Harvesting systems evaluation in Caspian forests*. *Journal of Forest Engineering*. 1991, 2: 2, 21-24

VARIABLE: Pendiente (Sobre trabajo efectivo)

Clase	N° de tramos ($x_{i+1}-x_i$)	$\sum d_i(m.)$	$v_i = \frac{\sum d_i}{5x n_i} (m/s)$	Sup. total(Ha)	Rendto.(Ha/h)
>+20%	45	105,7	0,47	0,0032	0,05
+10%-+20%	151	528,5	0,70	0,0160	0,08
0-+10%	225	1.102,5	0,98	0,0331	0,11
-10%-0	205	1.168,5	1,14	0,0351	0,12
-20%--10%	163	994,3	1,22	0,0298	0,13
<-20%	36	223,2	1,24	0,0067	0,13
Total	825	4.122,7	1	0,1237	0,11

Tabla I

VARIABLE: Compacidad del suelo (Sobre trabajo efectivo)

Clase	Nº de tramos ($x_{i+1}-x_i$)	$\sum d_i(m.)$	$v_i = \frac{\sum d_i}{5x n_i} (m/s)$	Sup. total(Ha)	Rendto(Ha/h)
Suelto	495	2.697,75	1,09	0,0809	0,12
Pesado	330	1.419,00	0,86	0,0426	0,09
Total	825	4.116,75	1	0,1235	0,11

Tabla I

VARIABLE: Distribución temporal

Clase	Nº de tramos ($x_{i+1}-x_i$)	$\sum d_i(m.)$	$v_i = \frac{\sum d_i}{5x n_i} (m/s)$	Sup. total(Ha)	Rendto(Ha/h)
Trabajo útil	825	4.118,42	1	0,1236	0,11
Cambio de surco	831	---	-	---	---
Detenciones	105	---	-	---	---
Total	1.761	4.118,42	0,47	0,1236	0,05

Tabla I

Nº de punto	$d_i (m)$	P_i	Compacidad	Distribución temporal
322	6,02	C	S	E
326	0,20	-	-	M
338	0,01	-	-	D

Tabla II

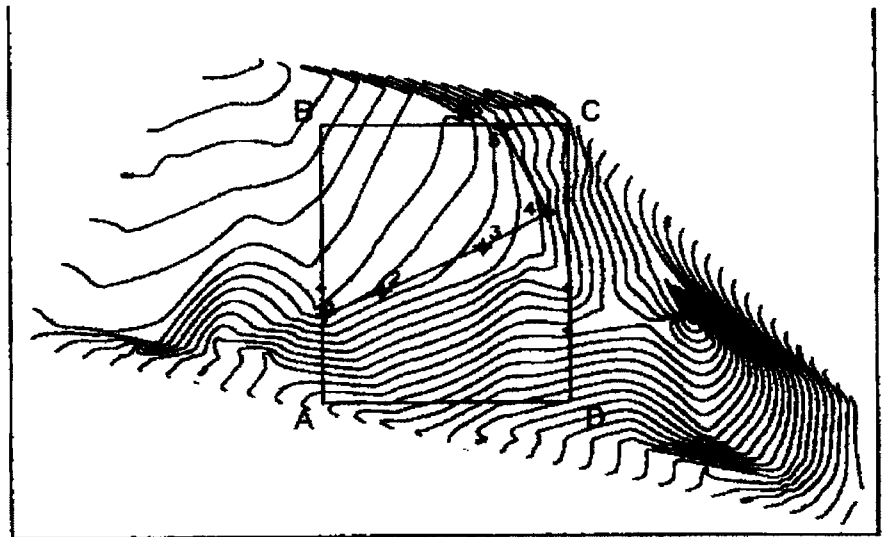
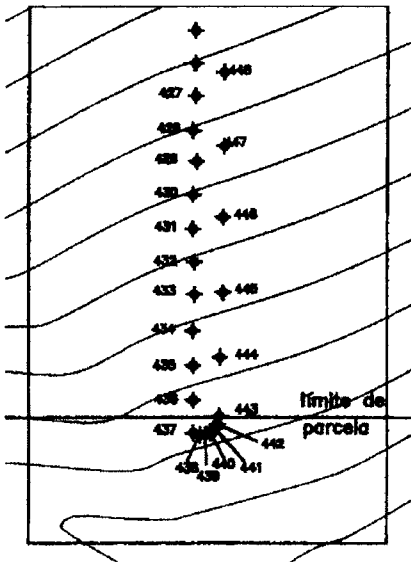


Fig. 1-Gráfico de cambio de surco

Fig. 2-Topografía de la parcela. La línea 1-2-3-4-5 delimita el tipo de terreno