

## ESTABILIDAD DEL TRACTOR: DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD

Carlos Gómez-García\*

*Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM*

\*[carlosgg@unam.mx](mailto:carlosgg@unam.mx)

### Resumen

Se determinó el ángulo de volcadura lateral de un tractor agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán basado en el centro de gravedad  $G$ , lo cual define la estabilidad del mismo y está asociado al diseño y construcción que el fabricante realiza. Existen condiciones críticas que pueden tener consecuencias fatales a los operadores de tractores agrícolas, entre ellas se encuentran las volcaduras laterales y volcadura hacia atrás. Las volcaduras laterales están asociadas al factor de riesgo de la pendiente del terreno donde se trabaja en forma perpendicular al sentido de dicha pendiente y el otro factor de riesgo es el centro de gravedad  $G$  del tractor. Se encontró que el centro de gravedad del tractor de 96 HP fueron las coordenadas  $G(L1, h)$  visto lateralmente, donde  $L1$  es la distancia horizontal del eje trasero al plano vertical  $h$  que intersecta al centro de gravedad,  $h$  es la altura donde se localiza el centro de gravedad, que visto de frente del tractor fueron las siguientes coordenadas  $G(T/2-L2, h)$  donde  $T/2$  es la mitad del ancho de vía promedio visto de frente o es la línea que divide al tractor en dos partes iguales, mientras que  $L2$  es la distancia horizontal desde la línea que divide al tractor en dos partes iguales al plano vertical que intersecta al centro de gravedad  $G$ , finalmente  $h$  sigue siendo la altura donde se localiza el centro de gravedad. El centro de gravedad se localiza mediante los siguientes valores de  $G$  visto lateralmente  $G(L1= 993 \text{ mm}, h= 810.5 \text{ mm})$  y visto de frente las coordenadas son  $(T/2-L2= 840.7 \text{ mm}, h= 810.5 \text{ mm})$ . Estas coordenadas del centro de gravedad del

tractor marcan la estabilidad y con ello se puede conocer con anticipación hacia qué lado facilita la volcadura.

**Palabras clave:** Volcadura lateral, ángulo crítico, altura, peso

## Introducción

Los riesgos que se corren al operar algún tractor agrícola son las volcaduras que se pueden presentar durante el trabajo en campo, esas volcaduras pueden ser al lado derecho o izquierdo del operador o hacia atrás. Si la carga concentrada del tractor está sobre el lado derecho, entonces hacia ese lado se favorece la volcadura. También se puede presentar volcadura hacia atrás del operador si la fuerza de tracción es muy alta y la parte frontal del tractor no cuenta con el lastre suficiente. Estos aspectos son inherentes al diseño del tractor agrícola lo cual nos lleva a localizar su centro de gravedad  $G$  donde se concentra la masa (Beléndez, 2017), hacia qué lado está el mayor peso del tractor. Entre más bajo se localice el centro de gravedad  $G$ , el tractor tendrá mayor estabilidad y viceversa. El ancho de trocha o de vía también influye notablemente en la estabilidad, a mayor ancho de vía, mayor estabilidad se conseguirá, pero existen otros factores externos que influyen para que se produzca una volcadura, entre ellos están la pendiente del terreno y la experiencia del operador. Para esto se han recomendado límites permisibles máximos de pendiente para evitar volcaduras y en caso de que se presenten, existen estructuras protectivas que evitan que el tractor ruede en caso de volcadura, como los dos postes que van en la parte trasera del asiento del operador y las cabinas para modelos mejor equipados. Estas estructuras tiene la función de absorber la energía de impacto durante las volcaduras sin que la deformación que sufren no invadan la zona de seguridad del operador, para esto; se someten a pruebas destructivas en laboratorios especializados que en México se realizan en el CENEMA (Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria

Agrícola), mientras que el OCIMA (Organismo de Certificación de Implementos y Maquinaria Agrícola) se encarga de extender la certificación de las pruebas a los modelos de tractores evaluados una vez aprobados. La determinación del centro de gravedad en los tractores se encuentra establecido en los códigos y procedimientos de la OECD en su sección Código 2, referente a tractores agrícolas (OECD, 2022).

### **Objetivo**

Localizar el centro de gravedad del tractor agrícola para prevenir la volcadura lateral durante el trabajo de campo.

### **Materiales y métodos**

1. Se requiere de un tractor agrícola con lastre.
2. Se requiere de una báscula con capacidad de 10 ton.
3. Dos rampas de 30 cm de altura por 50 cm de ancho y 1.3 m de longitud.
4. Para localizar el centro de gravedad G, se sigue el siguiente procedimiento que marca el diagrama (Figura 1):
  - a) Ubicación de coordenadas vista lateral del tractor (L1, h)

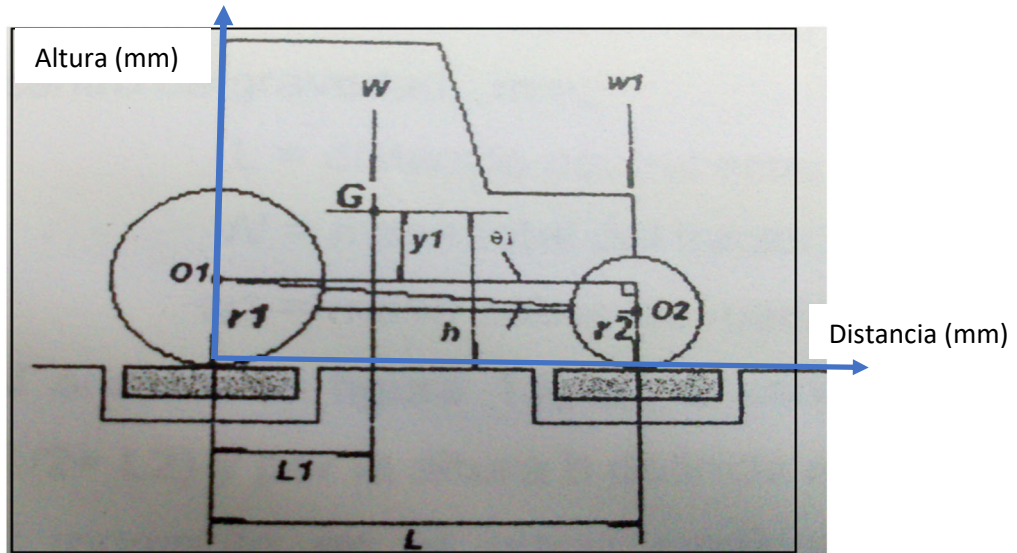


Figura 1. Ubicación del centro de gravedad G con coordenadas (L1, h), vista lateral.

Donde:

$$L1 * W = L * w1$$

$$L1 = L * \frac{w1}{W}$$

Donde L1 es el primer valor de la coordenada del centro de gravedad y es la distancia horizontal que va desde el eje trasero al plano vertical que intersecta el centro de gravedad G (mm)

L es la distancia entre ejes del tractor (mm)

W es la masa total del tractor (kg)

w1 es la masa frontal del tractor (kg)

Por otra parte:

$$\tan \theta_1 = \frac{r1-r2}{L} \quad \theta_1 = \arcsin \left( \frac{r1-r2}{L} \right)$$

$$\text{De la figura 2, } \sin \theta_2 = \frac{y+r2'-r1'}{\text{dist}(O1O2)}$$

$$\theta_2 = \arcsin \left( \frac{y+r2'-r1'}{\text{dist}(O1O2)} \right)$$

Entonces  $\theta = \theta_1 + \theta_2$

A partir de la figura del tractor en plano, la distancia  $O_1O_2$  es:  $\cos \theta_1 =$

$$\frac{L}{\text{dist}(O_1O_2)} \text{ de esto la } \text{dist}(O_1O_2) = \frac{L}{\cos \theta_1}$$

De la figura 1 con el tractor en plano, se desprende que  $h$  es:

$$h = r_1 + y_1$$

Donde  $y_1$  es la altura que va del plano horizontal que pasa por el eje trasero del tractor hasta el centro de gravedad  $G$  (Figura 1). Su analogía se presenta en la siguiente figura con el tractor levantado:

De la Figura 2, el centro de gravedad  $G$  se ha desplazado ligeramente hacia la izquierda denotada por la distancia  $L_1'$ .

Del ángulo localizado en el Centro de gravedad  $G$ , se observa que:

$$\tan \theta = x/y_1 \quad \text{entonces} \quad y_1 =$$

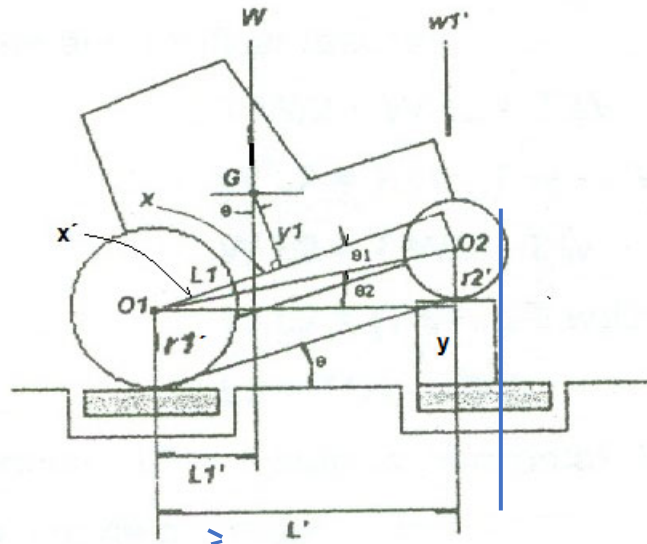
$$\frac{x}{\tan \theta}$$

$$\text{También: } x = L_1 - x'$$

$$\cos \theta = \frac{L_1'}{x'} \quad \text{entonces} \quad x' = \frac{L_1'}{\cos \theta}$$

$$x = L_1 - x'$$

$$\text{Se deduce que: } x = L_1 - \frac{L_1'}{\cos \theta}$$



**Figura 2. Vista lateral del tractor levantado por la parte frontal**

Sustituyendo:  $h = r1 + \frac{x}{\tan \theta}$  por sus equivalentes

$$h = r1 + \frac{L1 - \frac{L1'}{\cos \theta}}{\tan \theta}$$

$$h = r1 + \frac{L1 \cos \theta - L1'}{\cos \theta \tan \theta}$$

$$h = r1 + \frac{L1 \cos \theta - L1'}{\sin \theta}$$

Donde h es la coordenada vertical hasta el punto donde se localiza el centro de gravedad (mm)

r1 es el radio de la rueda trasera con la parte frontal del tractor levantado (mm)

L1 ya fue definida como la primera coordenada horizontal (mm)

L1' es la nueva coordenada horizontal cuando la parte frontal del tractor se levanta, y se determina así:

Donde:

$$L1'W = L'w1'$$

Entonces  $L1' = L' * \frac{w1'}{W}$

Donde L' se obtiene de acuerdo a la figura anterior:

$$\cos \Theta = L' / L$$

$$L' = \cos \Theta * L$$

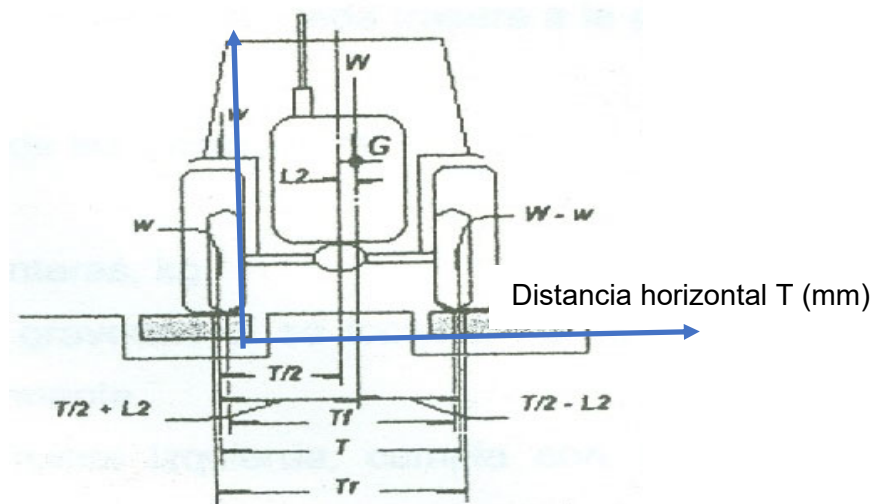
Donde r2' es el radio de la rueda delantera con la parte frontal del tractor levantado (cm)

r1'es el radio de la rueda trasera con la parte frontal del tractor levantado (cm)

y es la altura de la plataforma donde descansa la parte frontal del tractor (cm)

b) Coordenadas vista frontal del tractor (T/2+L2, h) (Figura 3).

Altura vertical h (mm)



**Figura 3. Localización del centro de gravedad G, vista de frente del tractor.**

Determinar la distancia L2 ya que h ya fue calculada anteriormente mientras que T es medible directamente sobre las ruedas del tractor; esto conlleva al siguiente análisis:

$$(T/2+L2)*W = T*(W-w)$$

$$TW/2 + L2*W = T*W - T*w$$

$$L2*W = T*W - T*w - TW/2$$

$$L2*W = T*W/2 - T*w$$

$$L2*W = (T*W-2T*w)/2$$

$$L2 = T \left( \frac{1}{2} - \frac{w}{W} \right)$$

La coordenada horizontal frontal es:  $(T/2 \pm L2, h)$

Donde L2 es la distancia horizontal desde el plano medio vertical del tractor a la posición del otro plano vertical que intersecta al centro de gravedad G (mm)

T es la amplitud promedio de la trocha del tractor (cm)

w minúscula es la masa del lado izquierdo del tractor (kg)

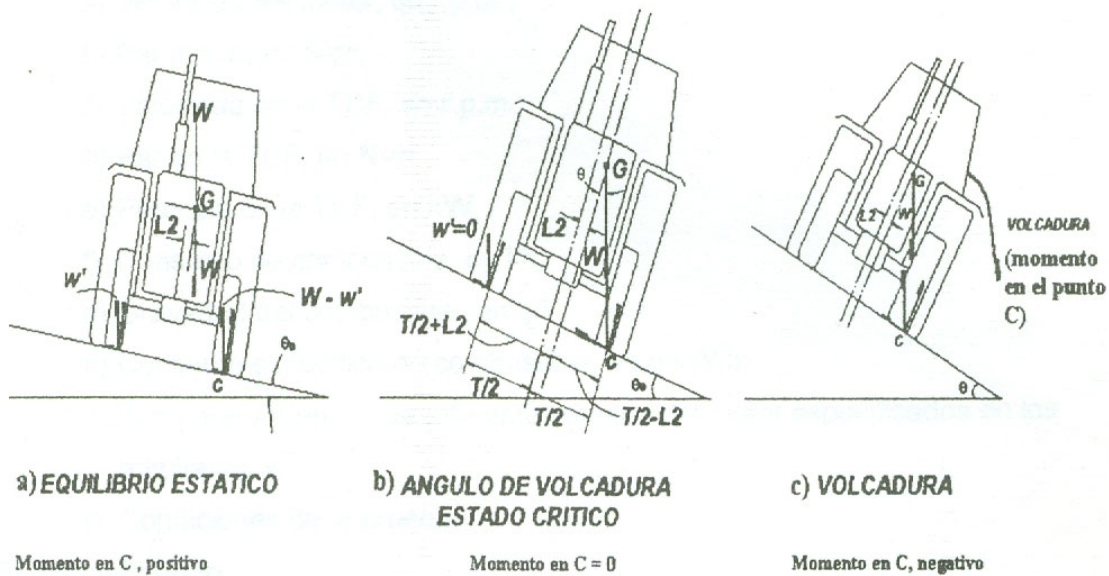
1. Equilibrio estático (Figura 4).

Caso 1. El equilibrio estático se presenta cuando en el punto C de la rueda presenta un momento positivo, inciso a) de la figura.

Caso 2. Equilibrio en estado crítico, cuando el momento en C es igual a cero, inciso b) de la figura.



Caso 3. Volcadura, cuando el momento en el punto C de la rueda es negativo, inciso c) de la figura.



**Figura 4. Posiciones posibles del tractor en terrenos con pendiente.**

Angulo de volcadura  $\theta$  determinada por la función tangente:

$\tan \theta = (T/2 - L2)/h$  cuando la masa se carga por la izquierda

$\tan \theta = (T/2 + L2)/h$  cuando la masa se carga por la derecha

En resumen:  $\tan \theta = (T/2 \pm L2)/h$

$$\theta = \tan^{-1}(T \pm 2 \cdot L2)/2h$$

## Resultados

En la Tabla 1 y 2 se presentan los resultados de estas operaciones.

**Tabla 1. Información previa recabada directamente del tractor.**

<b>Medidas</b>	<b>Unidades</b>
W peso total del tractor en plano	5,150 kg
w1 peso frontal del tractor en plano	2,015 kg
w1' peso frontal levantado	2000 kg
w peso lateral derecho del operador del tractor	2,600 kg
L distancia horizontal entre ejes	2538 mm
r1 radio de ruedas traseras en plano	750 mm
r2 radio de ruedas delanteras en plano	562 mm
y altura de rampa	300 mm
r1' radio de rueda trasera con frente levantado	748 mm
r2' radio de rueda delantera con frente levantado	572 mm
Tf amplitud de trocha frontal	1770 mm
Tr amplitud de trocha trasera	1626 mm

**Tabla 2. Localización del centro de gravedad.**

<b>Centro de gravedad del tractor agrícola</b>		<b>Angulo crítico de Volcadura del tractor</b>
Coordenadas, vista lateral del tractor (mm)	Coordenadas vista frontal mm)	$\theta$
(L1, h)	(T/2-L2, h)	$\theta = 46^\circ$
(993.02, 810.5)	(840.7, 810.5)	Ángulo de operación máximo= $30^\circ$

## Conclusiones

1. El centro de gravedad de un tractor determina el lado hacia donde se favorece una volcadura durante el trabajo en campo.

2. El ángulo crítico es un referente para operar el tractor por debajo de este valor.
3. La altura del centro de gravedad es determinante de la estabilidad de un tractor, a menor altura y ancho de trocha, el tractor es más estable y viceversa.

### **Agradecimientos**

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico y a la FES Cuautitlán de la UNAM, por los apoyos económicos y materiales recibidos respectivamente; así como, a los estudiantes que participaron en los trabajos de campo.

### **Referencias**

Beléndez, V.A. (2017). *Geometría de masas*. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/97688/1/Tema-3-Geometria-de-masas.pdf>. Fecha de consulta el 31 de agosto de 2022.

Gómez, G.C. (1998). *Pruebas de maquinaria agrícola*. Tesis de Maestría en Ingeniería en Metal Mecánica. FES Cuautitlán, UNAM.

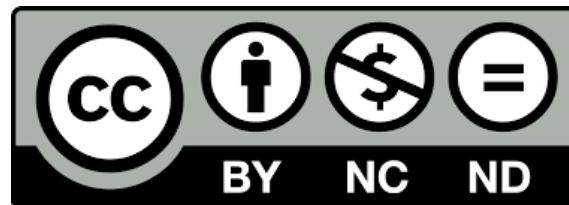
OECD. (2022). *Code 2. OECD Standard code for the official testing of agricultural and forestry*. Disponible en: <https://www.oecd.org/agriculture/tractors/codes/02-oecd-tractor-codes-code-02.pdf>. Fecha de consulta el 31 de agosto de 2022



D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



#### ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

#### FORMA SUGERIDA DE CITAR:

Gómez-García, C. (2022). Estabilidad del tractor: Determinación del centro de gravedad. *MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC)*, Año 5, No. 5, septiembre 2022 - agosto 2023. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

[https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2022/mem2022\\_ExtensoPaper11.html](https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2022/mem2022_ExtensoPaper11.html)