

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FCA
Facultad de
Ciencias Agropecuarias

Departamento de
Ingeniería Agrícola

TRABAJO DE DIPLOMA

**Título del trabajo: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA RECONVERSIÓN
DEL TRACTOR YTO 1604 A PALA FRONTAL.**

Autores del trabajo: Adianni González Freire.

Tutores del trabajo: Dr. C Manuel Acevedo Pérez.

Ing. Leonardo Domínguez Santos.

Santa Clara , Julio y 2019
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FCA
Facultad de
Ciencias Agropecuarias

Academic Department
of Agricultural
Engineering

DIPLOMA THESIS

**Title: THEORETICAL FOUNDATION OF THE RECONVERSION
OF THE TRACTOR YTO 1604 TO FRONTAL SHOVEL.**

Author: Adianni González Freire

Thesis Director: Dr. C Manuel Acevedo Pérez.

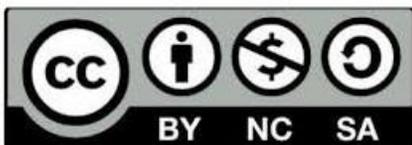
Ing. Leonardo Domínguez Santos

Santa Clara , Julio y 2019
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

“HOY LA AGRICULTURA LE CUESTA DECENAS DE MILLONES DE PESOS AL PAÍS Y LA AGRICULTURA DEBE APORTAR RENTAS POR CIENTOS DE MILLONES DE PESOS (...) PARA LOGRAR ESO HAY QUE CUMPLIR TODOS LOS REQUISITOS ECONÓMICOS Y TÉCNICOS DE LA ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y LA PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.”

Fidel Castro



DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico con gran amor, entrega y dedicación a todas esas personas que me apoyaron, en especial:

- ✚ A mi mamá por su amor incondicional, por su paciencia, por creer siempre en mí, por su apoyo, por sus consejos, por su ayuda, por ser lo mejor que la vida me ha dado, por ser la madre que es. Te quiero mucho mami. Tú has sido mi principal inspiración.*
- ✚ A mi papá que no quería que viniera a estudiar para Santa Clara pero hoy se siente muy orgulloso de que su hija sea una ingeniera.*
- ✚ A mi hermana que a pesar de mortificarme se preocupa siempre siempre por su hermana mayor.*
- ✚ A mi abuela María por su ternura y su amor incondicional.*
- ✚ A mis amigas(os), vecinos y familiares que de una manera u otra colaboraron en esta causa.*

AGRADECIMIENTO

La realización y éxitos de este trabajo fueron;

- + Primeramente, gracias a mi Tutor docente Manuel Acevedo Pérez por su paciencia y dedicación durante la elaboración de este documento tan importante que definirá mi futuro.*
- + A mi segundo Tutor Leonardo Domínguez por proporcionarme la información necesaria.*
- + A todos mis profesores de los 5 años por brindarme sus conocimientos y prepararme cada día más y mucho mejor para mi vida profesional.*
- + A mis padres Angel e Idania por su amor, su comprensión, su consagración, su incondicionalidad, etc...*
- + A mi hermana linda Idaimis, siempre preocupada.*
- + A Manuel Alejandro Mursulí Echeverría; por ayudar y apoyarme en cada momento que fuese necesario.*
- + A mis compañeros de aula Juanmi, Jesús, Josué, Yusmani, Zoraida, Manuel, Annietty y Arisbel; y a Jorgito que por ser el último no significa que sea el menos importante pues fue el compañero que más molestábamos "todos" para que nos ayudara en todo momento a resolver algunas tareas, trabajos, nos explicara las dudas y demás. Gracias por ser las personas más maravillosas. Gracias a todos por haber formado parte en mi vida y permitirme estar en la de ustedes.*
- + Y por último a mis amiguis del bachiller, vecinos, conocidos, a mi perro Yoki, en fin, a todo aquel que me desea lo mejor.*

RESUMEN

El trabajo se realizó en colaboración con el Grupo Empresarial AZCUBA de la provincia de Cienfuegos y su objetivo fue fundamentar teóricamente la factibilidad de poder modificar al tractor YTO 1604 para convertirlo en un equipo de empuje frontal destinado al arreglo de caminos y construcción de plataformas para el estacionamiento y carga de los rodotrenes. Para dar cumplimiento al objetivo propuesto, se elaboraron las metodologías correspondientes a la determinación de la estabilidad longitudinal y transversal del equipo sin modificar y modificado, centro de gravedad, probabilidad de vuelco lateral y longitudinal en una pendiente de aproximadamente 20° , así como para el análisis de equilibrio dinámico (peso adherente) y cálculo de su productividad una vez modificado. Los resultados obtenidos permitieron demostrar la factibilidad total de la modificación desde el punto de vista teórico.

ABSTRACT

The work was carried out in collaboration with the AZCUBA Business Group of the province of Cienfuegos and its objective was to theoretically substantiate the feasibility of modifying the YTO 1604 tractor to convert it into a frontal push equipment for the repair of roads and construction of platforms for the parking and loading of the wheel locks. In order to comply with the proposed objective, the methodologies corresponding to the determination of the longitudinal and transverse stability of the unmodified and modified equipment, center of gravity, probability of lateral and longitudinal tipping on a slope of approximately 20° , as well as for the analysis were elaborated of dynamic equilibrium (adhesive weight) and calculation of its productivity once modified. The results obtained allowed to demonstrate the total feasibility of the modification from the theoretical point of view.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	5
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE VIALES EN CUBA.	5
1.2. EQUIPOS DE CORTE, DESMONTE Y NIVELACIÓN.	6
1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CORTE, DESMONTE Y NIVELACIÓN.....	9
1.3.1. <i>BULLDOZER</i>	9
1.3.2. <i>ANGLEDOZER</i>	10
1.3.3. <i>TILDOZER</i>	10
1.4. TIPOS DE HOJAS TOPADORAS.....	11
1.4.1. <i>Hoja recta "S"</i>	11
1.4.2. <i>Hoja angulable e inclinable a potencia "P"</i>	12
1.4.3. <i>Hoja de radio variable "VR"</i>	12
1.4.5. <i>Hoja universal "U"</i>	14
1.4.6. <i>Hoja semi universal "SU"</i>	14
1.4.7. <i>Hoja para tractores topadores transportadores "CD"</i>	15
1.4.8. <i>Hoja amortiguada "C"</i>	15
1.4.9. <i>Hoja para rellenos sanitarios</i>	16
1.4.10 <i>Rastrillo</i>	16
1.5 CONTROL DE LA HOJA.	16
1.6. LIMITACIONES DE LOS TRACTORES UTILIZADOS EN LABORES DE NIVELACIÓN Y ESPARCIDO DE MATERIALES.	16
1.7. EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES. MOTONIVELADORAS.	17
1.8. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO QUE INFLUYEN EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS TRACTORES MOTONIVELADORES.	24
1.9. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL TRACTOR YTO 1604.....	25
MATERIALES	26
Y MÉTODOS	26
CAPÍTULO II	26
MATERIALES Y MÉTODOS	26
2.1 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE LA MODIFICACIÓN, TENIENDO EN CUENTA LAS POSIBILIDADES ENERGÉTICAS DEL TRACTOR OBJETO DE ESTUDIO.	26
2.2 METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA ESTABILIDAD LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DEL TRACTOR.....	27
2.2.1 <i>Determinación de la coordenada horizontal del centro de gravedad del tractor sin modificar</i>	29
2.2.2 <i>Determinación de la coordenada horizontal del centro de gravedad del tractor modificado</i>	30
2.3 DETERMINACIÓN DE LA COORDENADA VERTICAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD.	31
2.3.1 <i>Determinación de la coordenada vertical del centro de gravedad del tractor sin modificar</i>	32
2.3.2 <i>Determinación de la coordenada vertical del centro de gravedad del tractor modificado</i>	33
2.4 CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD DE VUELCO LONGITUDINAL (α_{lim}) DE ASCENSO DEL TRACTOR.	33
2.5 CÁLCULO DE (B_{lim}) DE VUELCO LATERAL DEL TRACTOR.....	34
2.5.1 <i>Cálculo de (β_{lim}) de vuelco lateral del tractor sin modificar</i>	34
2.5.2 <i>Cálculo de (β_{lim}) de vuelco lateral del tractor modificado</i>	35
2.6 CASO DEL TRACTOR TIRANDO DE CARRETAS AUTOBASCULANTES EN EL PLANO HORIZONTAL.	35
2.6.1 <i>Caso del tractor sin modificar</i>	35
2.6.2 <i>Caso del tractor modificado</i>	37

2.7 METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA PRODUCTIVIDAD DEL TRACTOR MODIFICADO.	38
CAPÍTULO III	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1 RESULTADOS DEL ESTUDIO PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE LA MODIFICACIÓN, TENIENDO EN CUENTA LAS POSIBILIDADES ENERGÉTICAS DEL TRACTOR OBJETO DE ESTUDIO.	44
3.2 RESULTADOS DEL ESTUDIO PARA CALCULAR LA ESTABILIDAD LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DEL TRACTOR SIN MODIFICAR Y MODIFICADO.	45
3.2.1 Caso del tractor sin modificar:	45
3.2.2 Caso del tractor modificado.	47
3.3 DETERMINACIÓN DE LA COORDENADA VERTICAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD; (YG).	48
3.3.1 Caso del tractor sin modificar.	48
3.3.2 Caso del tractor modificado:	50
3.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO PARA CALCULAR EN ÁNGULO LÍMITE (α_{LIM}) DE ASCENSO DEL TRACTOR.	52
3.4.1 Caso del tractor sin modificar:	52
3.4.2 Caso del tractor modificado:	53
3.5. RESULTADOS DEL ESTUDIO PARA DETERMINAR EL ÁNGULO LÍMITE DE VUELCO LATERAL DEL TRACTOR (B_{LIM}).	53
3.5.1. Caso del tractor sin modificar.	53
3.5.2 Caso del tractor modificado.	54
3.6. CASO DEL TRACTOR TIRANDO DE CARRETAS AUTOBASCULANTES EN EL PLANO HORIZONTAL.	55
3.6.1 Caso del tractor sin modificar.	55
3.6.2. Caso del tractor modificado.	57
3.7 RESULTADOS DEL ESTUDIO PARA CALCULAR LA PRODUCTIVIDAD DEL TRACTOR CONVERTIDO EN PALA DE EMPUJE FRONTAL.	60
3.7.1 Caso del tractor en trabajos de nivelación a 15º de inclinación de la pala.	60
3.7.2 Caso del tractor en trabajos de reparación de caminos a 15º de inclinación de la pala.	61
3.7.3 Caso del tractor en trabajos de nivelación a 50º de inclinación de la pala.	62
3.7.4 Caso del tractor en trabajos de reparación de caminos a 50º de inclinación de la pala.	62
 CONCLUSIONES	
CONCLUSIONES	64
 RECOMENDACIONES	
RECOMENDACIONES	65
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
 ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La solución a los problemas de la agricultura cañera en Cuba, constituyó un importante reto para la economía y la máxima dirección del país desde el propio año 1959, fecha en la cual existían muy pocos tractores que se destinaban fundamentalmente a la producción de arroz, la ganadería y la preparación de suelos, siendo además prácticamente inexistente la red de viales necesaria para la transportación de las producciones agrícolas y tiro de caña a los centrales azucareros existentes (Gómez, 2000b)

Esta situación, que cambió rápidamente sobre todo gracias las excelentes relaciones comerciales que se establecieron con el entonces campo socialista y especialmente con la exURSS, permitieron que en solo tres décadas, de 1960 a 1990, el número de tractores en el país se incrementara diez veces y el crecimiento no fue solo en cantidad, sino también en posibilidades energéticas, pues la potencia media de estos equipos creció hasta 115 kW por cada 100 ha, construyéndose además miles de kilómetros de vías de todo tipo para asegurar la transportación referida al tiro de caña a la industria y las producciones agrícolas en general (Fernández y Shkiliova., 2011)

Al derrumbarse el campo socialista, y como consecuencia de los fenómenos adversos que esto trajo para el país, a partir de la década del 90 se observó un deterioro acelerado de la red de viales existentes, así como una disminución significativa del parque de máquinas, llegándose a alcanzar la cifra de solo 0,85 equipos por cada 100 ha (García, 2000; Gómez, 2000a).

Esta situación, que se mantuvo así durante muchos años, sumado a la obsolescencia de la técnica anteriormente utilizada casi toda proveniente de la exURSS, provocó que se redujeran a niveles alarmantes los indicadores productivos cañeros hasta que en el año 2010, se llegó a producir solo 1 196 000 t de azúcar, es decir, un 17% de lo producido en 1985.

Poco a poco el país se ha ido recuperando de aquella difícil situación, y hoy cuenta con una superficie total de tierra equivalente a 10. 988, 6 millones de hectáreas, de las cuales 6. 619, 5 son agrícolas.

De ellas se encuentran cultivadas 2.988,5 ha, de las que 1.141,1 se destinan al cultivo de la caña de azúcar, que representan un 38.18% del total de tierras cultivadas (Ríos, 2013).

Sin embargo, para lograr una agricultura cañera verdaderamente competitiva, se exige hoy la adopción de nuevos sistemas de producción mecanizados como vía para incrementar la productividad, disminuir los costos, y contribuir a la conservación y protección del medio ambiente, tomando como referente la experiencia acumulada en países más desarrollados que Cuba en el cultivo y cosecha de la caña de azúcar en la actualidad.

Es así como se implementa en el país, en zonas del central azucarero Jesús Rabí de la provincia de Matanzas y a modo de prueba, una nueva tecnología compuesta por tractores y combinadas de última generación, transportes auto basculantes y nuevas rastras llamadas también rodotrenes, preparadas para obtener elevados índices de abasto de caña al central, demostrándose que con éste nuevo equipamiento de cosecha y tiro se podían sustituir varias combinadas KTP, varios camiones y tractores altamente consumidores de combustible, y múltiples carretas de tiro de caña.

Con el uso de ésta tecnología, la cosechadora transita por la plantación, pero no vierte la caña picada directamente sobre el medio de transporte como era habitual en Cuba, sino que paralelo a la misma se desplaza el equipo auto basculante o transporte intermedio, generalmente con una capacidad de carga de 10t, quien posteriormente es el encargado de trasladar la materia prima al medio de transporte, (rastra), que generalmente se encuentra estacionada en plataformas especialmente construidas o directamente en los terraplenes en espera.

De éste modo, se puede asegurar que la agroindustria azucarera cubana pasa hoy por un período de recuperación que se inició en el año 2008 con las experiencias del Complejo Agroindustrial Jesús Rabí, por lo que la máxima dirección del país decidió generalizar esos buenos resultados a otras zonas cañeras importantes entre las que se incluye la provincia de Cienfuegos.

En los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, aprobados en el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba el 18 de abril de

2011, y ratificadas en la Conferencia del PCC celebrada en febrero del 2015, específicamente en el capítulo VII, Política Agroindustrial, se plantea en el artículo 209: La agroindustria azucarera tendrá como objetivo primario incrementar de forma sostenida la producción de caña, priorizando el reordenamiento de las áreas para lograr su acercamiento al central.

En su desarrollo, deberá perfeccionar la relación entre el central azucarero y los productores cañeros, aprovechar la tradición azucarera y la experiencia existente. Sin embargo, poco podrá hacerse al respecto si para el uso de ésta nueva tecnología no se adecuan los caminos cañeros y se construyen las plataformas necesarias para el abasto de caña a las rastras que finalmente la transportarán a la industria.

El equipamiento necesario para ello es deficitario en el país, muy costoso en el mercado internacional, y en la actualidad no se dispone de las divisas libremente convertibles para suministrar la cantidad que de ellos se necesitaría para implementar de manera adecuada la tecnología a la que se ha hecho referencia.

Para solucionar éste problema, la dirección del Grupo AZCUBA en la provincia de Cienfuegos, decide empíricamente modificar el tractor YTO 1604 y convertirlo en un tractor equipado con una pala frontal, de manera tal que, además de sus funciones originales de arrastre, pueda distribuir y nivelar material rocoso sobre los caminos cañeros para hacerlos más firmes, y/o construir con el mismo material las plataformas de carga de las rastras que transportarán la caña de azúcar finalmente hacia la industria.

Por ello, el **objeto de investigación** lo constituyen los tractores YTO 1604.

El **Problema científico** consiste en determinar: ¿Es posible teóricamente fundamentar la modificación al tractor YTO 1604 objeto de estudio, hasta convertirlo en un equipo de empuje frontal destinado al arreglo de caminos y construcción de plataformas para el estacionamiento y carga de los rodotrenes?

Para ello se declara la siguiente **Hipótesis** de trabajo: Si se aplican los conocimientos de Mecánica Aplicada, se podrá fundamentar teóricamente la posibilidad de modificar al tractor objeto de estudio hasta convertirlo en un equipo de empuje frontal, destinado además de sus funciones tractivas originales, a la

distribución de material rocoso en los caminos cañeros y nivelación del terreno para construir las plataformas de carga de las rastras que trasladarán la materia prima al central azucarero.

Objetivo general: Fundamentar teóricamente la factibilidad de poder modificar al tractor YTO 1604 en un equipo de empuje frontal a través del uso de la mecánica aplicada, para utilizarlo en arreglo de caminos y construcción de plataformas para el estacionamiento y carga de los rodotrenes.

Objetivos específicos:

1. Determinar la factibilidad de la modificación, teniendo en cuenta las posibilidades energéticas del tractor objeto de estudio.
2. Calcular la estabilidad longitudinal y transversal del tractor sin modificar y modificado.
3. Calcular las características tractivas del tractor modificado.
4. Calcular teóricamente la productividad del tractor modificado.

REVISIÓN
BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Situación actual de la Red de viales en Cuba.

La red de viales en Cuba para el transporte automotor en general tiene una extensión de 52 202 km, de los cuales 17 212 km corresponden a carreteras pavimentadas, para una densidad de 157m de vías pavimentadas por cada km² de superficie (Anónimo., 2018a).

La red incluye 654 km de autopistas y 400 km de otras vías multicarriles y cuenta además con 3 815 puentes predominando los de hormigón armado (95%), de acuerdo con (González, 2018).

Desde el punto de vista legal y de su administración, las vías en Cuba se clasifican de la siguiente manera de acuerdo con (Anónimo., 2007).

De interés nacional: son las autopistas, vías expresas multicarriles, carreteras que vinculan provincias entre sí y las que unen las cabeceras municipales con las capitales provinciales, los viales a centros turísticos importantes (incluyendo los “pedraplenes” a los cayos), a los aeropuertos, puertos, nudos ferroviarios, centrales azucareros y otros objetivos económicos importantes. Estas vías están bajo la administración del Ministerio del Transporte.

El mal estado de las vías en general, acentuado sobre todo después de los difíciles años de período especial, es un problema que atenta contra el estado técnico del parque automotor, la seguridad vial y la comunicación, especialmente entre las periferias y los centros donde se concentran comercios, fábricas y servicios.

En las zonas rurales, el deterioro vial se suma a otros factores, como la descapitalización y la poca fuerza laboral, necesaria para acelerar el despegue agropecuario que se ha planteado como una de las prioridades de la reforma económica impulsada por el nuevo modelo económico del país.

Por ello, gracias a una inversión de 40 millones de dólares, empresas estatales adquirieron en 2008 maquinaria para pavimentar, surgieron cuatro nuevas fábricas

de mezcla asfáltica y se capacitó mano de obra especializada dentro de un programa mayor de recuperación vial que culminó en 2016, sin que sus resultados quedaran plasmados en el sector agropecuario, pues el proyecto priorizó las carreteras de interés nacional y provincial.

Por ello, el Presidente de los Consejos de Estado y de Ministros, Miguel Díaz-Canel Bermúdez, indicó recientemente a directivos de los ministerios de la Construcción, Transporte, Agricultura y AZCUBA, presentar soluciones para resolver de manera local el deterioro de viales en municipios, repartos y comunidades de todo el país, a semejanza de lo que se ha ido logrando en los últimos años con la producción local de materiales de la construcción.

Con el mismo concepto seguido para solventar la demanda de esos materiales en los Consejos Populares consideró: tenemos que diseñar un módulo con equipamientos sencillos que pueda producirse en la industria nacional y vayan dando solución al deterioro que presentan hoy los viales que no son de interés nacional y que impactan directamente en la vida de las comunidades.

Con ello se generan empleos, se les otorga a los territorios más responsabilidades en la gestión de sus dificultades y se mejora la situación de la vialidad, agregó Díaz-Canel en un chequeo que evalúa periódicamente el programa de viales del país.

Destacó la necesidad de velar estrictamente por la calidad de todo cuanto se haga para mejorar los viales, así como de crear capacidades para cuando se abra un pequeño bache exista una brigada que lo cierre en el menor tiempo posible y el problema no se convierta en un asunto mayor.

1.2. Equipos de corte, desmonte y nivelación.

En general, los equipos destinados al corte, desmonte y nivelación del terreno, son máquinas que transforman la potencia del motor en energía de tracción, para excavar, empujar o halar cargas, que son fundamentales para las construcciones por su amplia versatilidad al ser capaces de realizar múltiples tareas.

Comúnmente se construyen sobre orugas o neumáticos, con la particularidad de que los montados sobre orugas son capaces de desarrollar una mayor potencia a menor velocidad, mientras que los montados sobre ruedas trabajan a mayor

velocidad con un menor aprovechamiento de la energía del motor, por lo que su fuerza de tracción es considerablemente menor a la del tractor de orugas.

En la Figura 1.1 se pueden observar las características constructivas generales de un equipo montado sobre orugas para realizar las funciones anteriormente mencionadas.

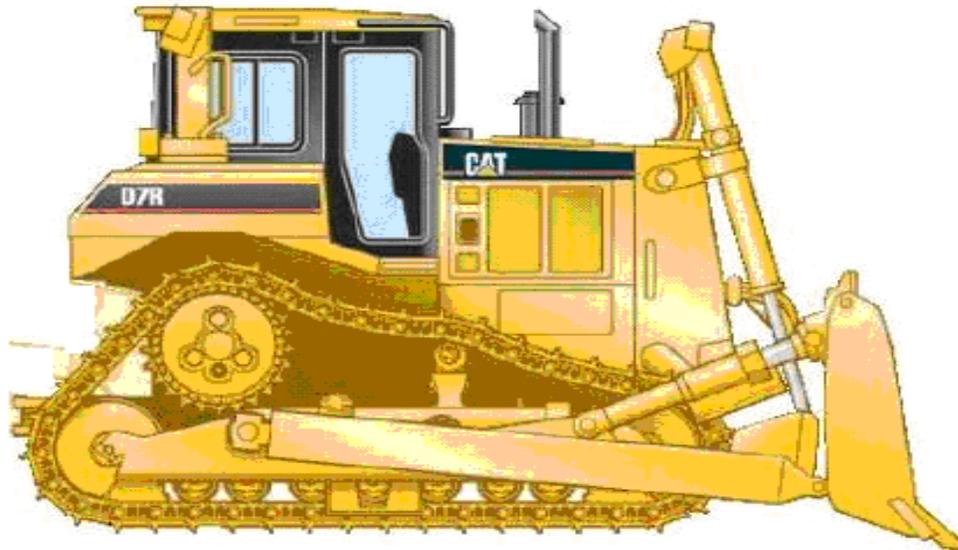


Figura 1.1. Equipo destinado al corte, desmonte y nivelación del terreno montado sobre orugas. “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017).

Tienen la ventaja de trabajar en condiciones adversas, sobre terrenos accidentados o poco resistentes, en lugares donde no existen caminos, etc., ya que son capaces de abrir su propia senda además de poder transitar por laderas escarpadas y con fuertes pendientes.

Generalmente forman parte del primer contingente de máquinas que inician una obra, ya sea abriendo sendas, efectuando la limpieza y desbroce del terreno, realizando tareas de excavación o nivelando el terreno para futuras construcciones.

Se utilizan para trabajos tales como: excavación, desbroce de árboles y arbustos, remolque de traíllas sobre terrenos inestables, pantanosos y con fuerte pendiente, remolque de apisonadoras, arados, etc., como empujadores para el movimiento de traíllas, etc., aunque también se utilizan para trabajos de mayor precisión, como

pueden ser: nivelación de terraplenes, desmonte de los lugares de corte, empuje y acopio de materiales, apertura de cunetas, peinado inicial de taludes, etc.

Se fabrican con motores cuya potencia varía de 70 a 800 HP o más.

En la Figura 1.2 se pueden observar detalles constructivos de los equipos destinados a estas labores montados sobre neumáticos.



Figura 1.2. Equipo destinado al corte, desmonte y nivelación del terreno montado sobre neumáticos. “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017).

Estos equipos pueden desarrollar altas velocidades y llegan a alcanzar los 60 km/h, con la desventaja de que su fuerza tractiva es mucho menor que la de los equipos montados sobre esteras como se mencionó anteriormente, debido a que el coeficiente de tracción es menor para los neumáticos.

Para su operación requieren superficies más estables y uniformes, con poca pendiente relativa para evitar hundimientos que disminuyen su tracción.

Los tractores sobre neumáticos pueden recorrer distancias considerables además sin dañar el pavimento, por lo cual se utilizan en el mantenimiento de vías asfaltadas y con preferencia en el transporte de materiales a largas distancias, como por ejemplo los tractores que remolcan traíllas.

Pueden ser montados sobre dos o cuatro ruedas de acuerdo al trabajo a ejecutar, aunque los tractores montados solo sobre dos ruedas poseen mayor maniobrabilidad para hacer giros en espacios reducidos.

Su fuerza de tracción es mayor comparada con el de cuatro ruedas, debido a que la resistencia a la rodadura es menor por tener un solo eje, y su costo de mantenimiento es menor por el menor número de llantas.

Sin embargo, los tractores montados sobre cuatro ruedas poseen mayor estabilidad, por lo cual pueden transitar por caminos más accidentados y desarrollar una mayor velocidad. Tienen la ventaja además de poder desacoplarse de la unidad de remolque y usarse para otros fines.

1.3. Clasificación de los equipos de corte, desmonte y nivelación

Los dozers se definen como tractores dotados de una hoja topadora montada en la parte delantera y al frente de los mismos, que posee una sección transversal curva para facilitar el trabajo de excavación, en su parte inferior está provista de piezas cortantes atornilladas denominadas cuchillas y en ambos extremos posee además una puntera también atornillada.

Las hojas están unidas al chasis de la oruga por dos brazos laterales accionados de manera hidráulica mediante dos pistones de doble acción, quienes se encargan de soportar los brazos laterales y son movidos por la presión de una bomba hidráulica de alta presión.

Los dozers se subdividen de acuerdo al ángulo de trabajo de su hoja en tres tipos principales:

1.3.1. BULLDOZER.

Son tractores que tienen la hoja topadora fija, perpendicular a su eje longitudinal, trabajan en línea recta y solo poseen movimiento vertical Figura 1.3.

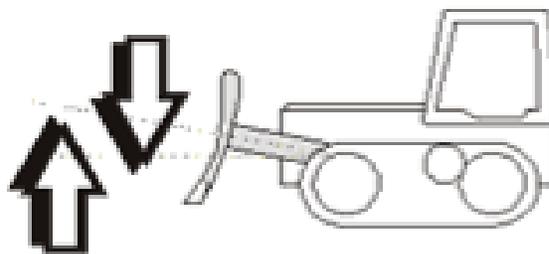


Figura 1.3. Representación esquemática de un tractor Bulldozer. “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017).

La hoja puede inclinarse girando sobre el eje horizontal. Su uso es más productivo y económico en el empuje de materiales producto de excavaciones, o para excavaciones y rellenos en línea recta.

1.3.2. ANGLEDOZER.

Son tractores equipados con una hoja topadora móvil, que puede girar hasta un ángulo de 30 grados con respecto al eje longitudinal del tractor. Su hoja también puede inclinarse ligeramente bajando una de sus punteras con respecto al extremo opuesto y su uso es más eficiente en trabajos a media ladera Figura 1.4.

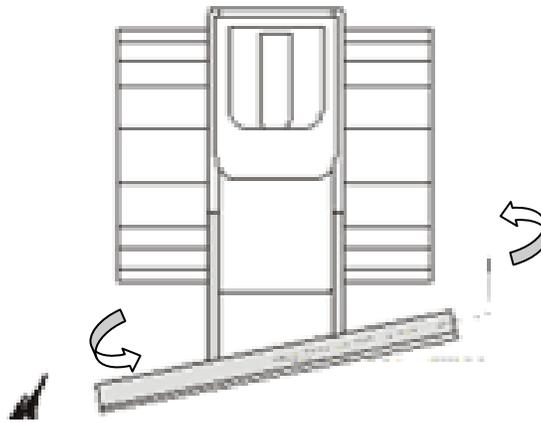


Figura 1.4. Representación esquemática de un tractor Angledozer. “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017)

1.3.3. TILDOZER.

Esta máquina tiene un sistema de giro en la hoja topadora, giro horizontal y vertical a través de un sistema de mandos hidráulicos Figura 1.5.

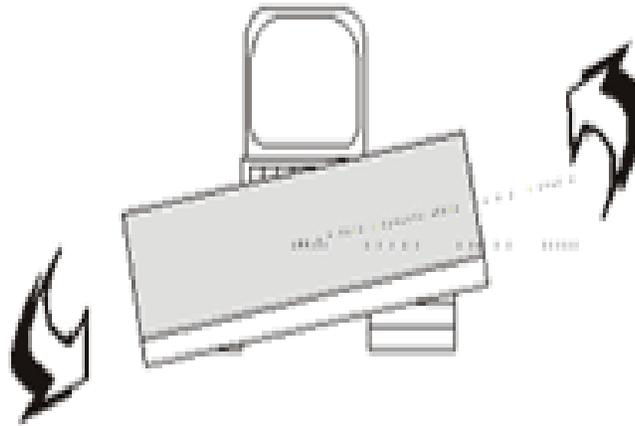


Figura 1.5. Representación esquemática de un tractor Tildozer. “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017).

Otras veces se monta la cuchilla detrás del tractor, constituyéndose así en otra rama de máquinas de la misma aplicación que los dozers.

En cada caso existen ventajas y desventajas, especialmente por el sistema de mantenimiento que se debe efectuar en la máquina, los mandos hidráulicos son más caros para su mantenimiento en tanto que los mandos por cable son fáciles y de menos costo, aunque actualmente el sistema de mandos por cable ya no existe.

1.4. Tipos de hojas topadoras.

Para obtener una mayor productividad, los tractores deben ser equipados con la hoja topadora adecuada considerando los lugares y el tipo de trabajo que realizarán en la mayor parte de su vida útil.

Básicamente se pueden citar los tipos siguientes:

1.4.1. Hoja recta “S”.

Esta hoja generalmente es más corta y de mayor altura que las habituales, y puede ser inclinada lateralmente para facilitar su penetración en el suelo. Tiene mejor adaptación debido a su diseño en forma de "U" modificada y a su menor altura con respecto a la hoja universal "U", por lo cual puede maniobrar con mayor facilidad, logrando penetrar de 30 a 60 centímetros de acuerdo al modelo y tamaño del tractor donde se instale Figura 1.6.

Puede excavar además suelos densos obteniendo mayores cargas en una amplia variedad de materiales.

Este tipo de hoja puede ajustarse dándole una inclinación frontal de hasta 10 grados.

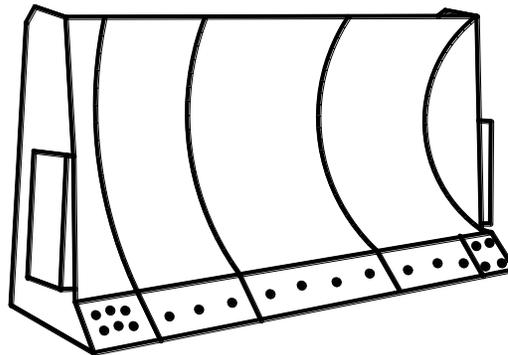


Figura 1.6. Hoja topadora recta. “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017).

1.4.2. Hoja angulable e inclinable a potencia “P”.

La versatilidad es la característica principal de esta hoja al poder realizar una gran variedad de trabajos, desde desarrollos de sitios hasta trabajos generales de empuje y aplicaciones de servicio pesado.

En algunas máquinas el ángulo y la inclinación se controlan con dos palancas, mientras que en otras se usa una sola palanca. La hoja (orientable e inclinable a potencia con cuchilla variable), puede inclinarse mecánicamente hacia adelante para obtener mejor penetración o para desmenuzar material pegajoso, o hacia atrás para conseguir mayor productividad y facilitar el nivelado de acabado.

1.4.3. Hoja de radio variable “VR”.

La hoja VR de radio variable, combina la habilidad de corte y penetración del suelo con las características de la hoja U, pero poseen mayor retención y derraman menos material como se muestra en la Figura 1.7.

Esto se obtiene con la vertedera de radio variable, que hace que la tierra se mueva hacia el centro de la hoja creando con ello una mayor acción de rodadura del material, mientras que las planchas laterales extendidas retienen el material y aumentan su capacidad.

La hoja VR de radio variable es una herramienta excelente para el mejoramiento de terrenos, conservación del suelo, desarrollo urbano, y construcción en general.

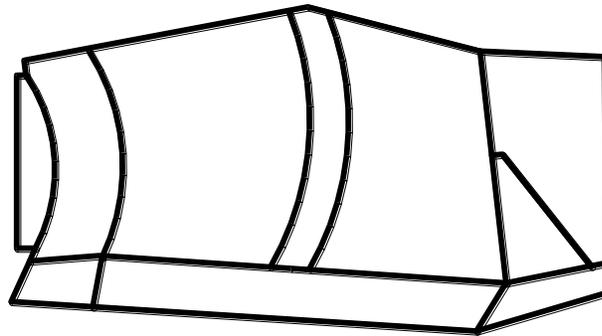


Figura 1.7. Hoja de radio variable “VR”. “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017)

1.4.4. Hoja angulable "A".

Poseen mayor longitud y menor altura, pudiendo situarse en posición recta o girar a derecha e izquierda ajustándose en diversas posiciones intermedias hasta un ángulo de 30 grados con respecto al eje longitudinal del tractor. También pueden inclinarse lateralmente para que uno de sus extremos penetre en el terreno según se muestra en la Figura 1.8.

Especialmente han sido diseñadas para efectuar trabajos de empuje lateral, y se utilizan preferentemente para equipar con ellas a los tractores Angledozer.

Se utilizan para efectuar el corte inicial en los movimientos de tierras, en la apertura de zanjas y cunetas, en el empuje de diferentes tipos de materiales, etc.

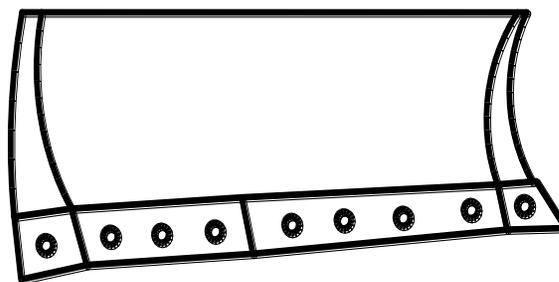


Figura 1.8. Hoja angulable “A”. “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017).

1.4.5. Hoja universal "U".

Las amplias alas de esta hoja facilitan el empuje de grandes cargas a mayores distancias, y se utilizan para modelos de tractores de mayor tamaño y potencia.

Principalmente efectúan trabajos para la habilitación de tierras, amontonamiento de materiales para los cargadores frontales, para la excavación de suelos livianos de poca densidad, etc.

Relativamente poseen mayor longitud y altura, y una menor penetración equivalente a la hoja recta "S".

1.4.6. Hoja semi universal "SU".

La hoja Semi Universal "SU", combina las mejores características de las hojas S y U. Poseen mayor capacidad por haberseles añadido alas cortas que incluyen sólo las cantoneras.(Figura 1.9)

Las alas mejoran la retención de la carga y permiten conservar la capacidad de penetrar y cargar con rapidez materiales muy compactados, y de trabajar con una gran variedad de materiales en aplicaciones de producción.

Un cilindro de inclinación aumenta la productividad y versatilidad de esta hoja quien además, equipada con una plancha de empuje, es muy utilizada para cargar traíllas.

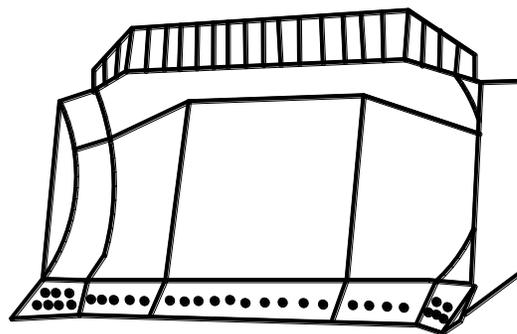


Figura 1.9 Hoja Semi Universal "SU". "Maquinaria y Equipo de Construcción" (Ayllon, 2017).

1.4.7. Hoja para tractores topadores transportadores “CD”.

La hoja CD está disponible solamente para el tractor topador transportador más grande, siendo construida con los mismos requisitos de integridad estructural que las hojas topadoras “U” y “SU”.

La hoja CD posee una forma de “cucharón”, que le permite transportar varios metros cúbicos de material en la hoja. Este material actúa como contrapeso descartable que permite que el tractor topador transportador empuje más material por pasada. (Figura 1.10).

La hoja CD no es tan eficaz como las hojas “U” y “SU” en materiales muy comprimidos o poco dinamitados y sufre más a causa de material retenido en la hoja al trabajar con materiales pegajosos.

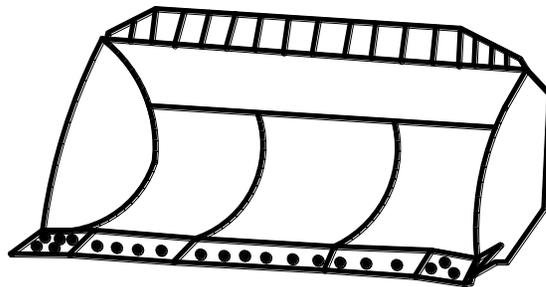


Figura 1.10. Hoja para tractores topadores transportadores “CD”. “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017).

1.4.8. Hoja amortiguada "C"

Se utiliza para el empuje de traíllas, sus muelles de amortiguación suavizan y facilitan esta operación, su menor ancho permite una mejor visibilidad al operador y una mayor maniobrabilidad. (Figura 1.11)

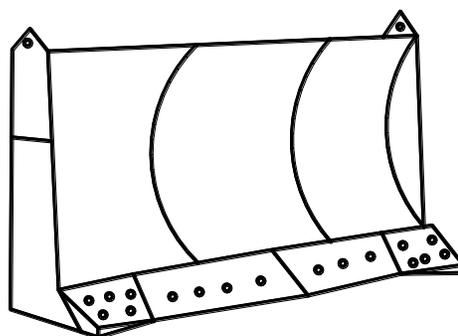


Figura 1.11. Hoja Amortiguada “C”. “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017)

1.4.9. Hoja para rellenos sanitarios.

Están diseñadas para trabajar con basura y materiales livianos de poca densidad, poseen una rejilla en su parte superior que protege el radiador y facilita una buena visibilidad.

La curvatura transversal de la hoja permite que el material ruede uniformemente y por ello, generalmente se utilizan para la conformación de rellenos sanitarios.

1.4.10 Rastrillo.

Se utilizan en aplicaciones de limpieza de terreno. Pueden trabajar con vegetación de hasta una altura de árboles medianos y ofrecen una buena penetración del suelo para sacar pequeños troncos, rocas y raíces. En la mayoría de los casos, las puntas de los rastrillos son reemplazables.

1.5 Control de la hoja.

El movimiento de la hoja topadora puede estar controlado por un sistema de cables o por mandos hidráulicos.

El control por cables es mucho más simple en su operación, su reparación es más sencilla y menos costosa, pero tiene menor precisión.

Con el control hidráulico se puede ejercer una mayor presión sobre la cuchilla consiguiendo una mayor penetración, y además, se consigue un ajuste más preciso y uniforme en la posición de la hoja.

1.6. Limitaciones de los tractores utilizados en labores de nivelación y esparcido de materiales.

El mayor empuje en kilogramos que puede proporcionar un tractor, es igual al peso de la máquina más la fuerza máxima que suministra el sistema de transmisión.

Por ello, algunas características del terreno y su humedad limitan la aptitud del tractor para aprovechar la totalidad de su peso y potencia.

Los coeficientes aproximados de los factores de tracción que aparecen en la tabla 1.1, permiten calcular la fuerza máxima de empuje de la hoja topadora, multiplicando el peso del tractor por los coeficientes de la Tabla 1.1.

TABLA 1.1. Coeficientes aproximados de los factores de tracción o agarre en el suelo.

Tipo de suelo	Ruedas con neumáticos	Con orugas
Hormigón	0.90	0.45
Marga arcillosa seca (*)	0.55	0.90
Marga arcillosa mojada	0.45	0.70
Marga arcillosa con surcos	0.40	0.70
Arena seca	0.20	0.30
Arena Mojada	0.40	0.50
Canteras	0.65	0.55
Caminos de grava suelta	0.36	0.50
Tierra firme	0.55	0.90
Tierra floja	0.45	0.60

*Fuente: “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017).

(*) Marga: material compuesto de arcilla y carbonato de calcio, tiene color grisáceo y se utiliza para la fabricación del cemento.

Los tractores dozers poseen su mejor aprovechamiento en movimiento de tierras con recorridos de excavación y empuje menores a 100 metros y con una distancia de excavación menor a 15 metros, luego de la cual, debe acumularse delante de la cuchilla una cantidad de material igual a su capacidad máxima de carga.

Si los terrenos son muy duros deben ser previamente aflojados, utilizando arados roturadores llamados desgarradores o escarificadores, o en su defecto, realizando perforaciones para el uso de explosivos.

1.7. Equipos para la construcción de terraplenes. Motoniveladoras.

Como se observa en la Figura 1.12, las motoniveladoras están compuestas por un tractor de cuatro ruedas, que en su parte delantera posee un brazo largo o bastidor apoyado en un tren delantero de dos ruedas, las cuales son direccionales o directrices.

La motoniveladora está equipada además, con una hoja de corte dotada de movimientos vertical y horizontal, y de rotación y de translación en su propio plano, montada entre su eje delantero y sus ejes traseros de tracción.

El movimiento horizontal de la hoja varía de 0° a 180° en relación al eje longitudinal de la máquina, mientras que en el plano vertical su inclinación puede llegar a 90° en relación al suelo.



Figura 1.12. Motoniveladora. “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017).

Esa gran movilidad de la hoja de corte le permite situarse con precisión en diversas posiciones, puede girar horizontalmente mediante la rotación del círculo de giro, e inclinarse lateralmente con relación a su eje vertical, también puede inclinarse con relación a su eje horizontal, además, puede desplazarse vertical y lateralmente, lo cual le permite cortar, mezclar, nivelar y botar los materiales de exceso.

Las motoniveladoras poseen una amplia maniobrabilidad y radio corto de viraje, debido a su bastidor articulado y a las ruedas delanteras de viraje cerrado.

Sus ruedas delanteras poseen una inclinación lateral con respecto a sus propios ejes, lo que les permite adaptarse fácilmente a los desniveles del terreno y soportar empujes laterales cuando trabaja con la cuchilla inclinada. Figura 1.13.

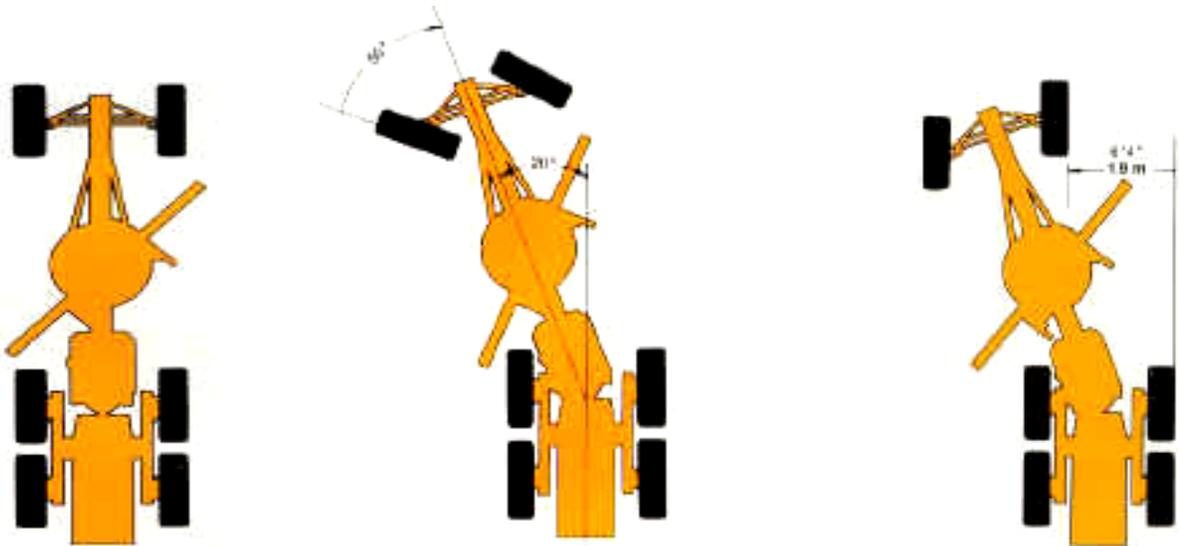


Figura 1.13. Posiciones que pueden adoptar las ruedas directrices de una motoniveladora, en dependencia de los desniveles del terreno e inclinación de la cuchilla. “Maquinaria y Equipo de Construcción” (Ayllon, 2017)

Están dotadas en ocasiones de un escarificador frontal, que opcionalmente se acomoda en la parte delantera o trasera del equipo.

Este aditamento se utiliza para aflojar el suelo cuando el material a ser cortado se presenta muy duro, y normalmente está compuesto de 11 dientes removibles que pueden ser ajustados hasta una profundidad de 30 cm.

Si el esfuerzo del escarificador fuera demasiado, se puede reducir el número de dientes.

En la Figura 1.14 se representa una vista esquemática de una motoniveladora donde se ha instalado su escarificador en la parte frontal.

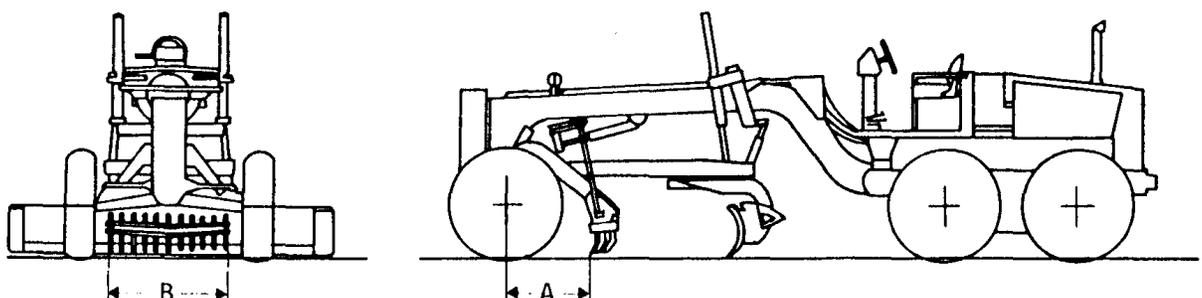


Figura 1.14. Escarificador montado en la parte delantera de la motoniveladora. Manual de Especificaciones y Aplicaciones KOMATSU

En la Tabla 1.2 se especifican las variaciones que pueden sufrir las dimensiones señaladas en la figura, según el modelo de que se trate.

TABLA 1.2. Variaciones de las dimensiones señaladas en la figura, según el modelo de motoniveladora.

CARACTERÍSTICAS	DIMENSIONES (m)
A= Distancia entre el borde del diente y el centro de los neumáticos delanteros.	0.80 – 1.20
B = Ancho de excavación.	0.82– 1.35
ALCANCE DEL ESCARIFICADOR:	49° - 74°
Ángulo de excavación	0.20 - 0.60
Altura máxima de levantamiento	0.20 - 0.35
Profundidad máxima de excavación	

*Fuente: Manual de Especificaciones y Aplicaciones KOMATSU

En la Figura 1.15 se representa una vista esquemática de una motoniveladora donde se ha instalado su escarificador en la parte trasera del equipo.

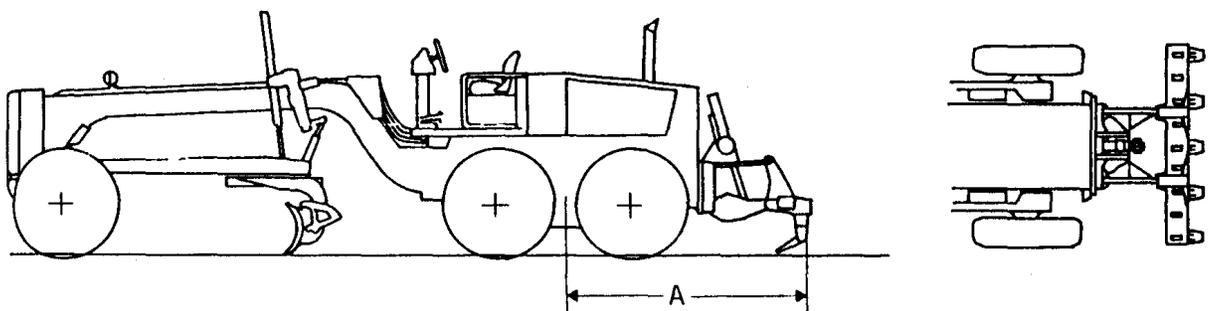


Figura 1.15. Escarificador montado en la parte trasera de la motoniveladora. Manual de Especificaciones y Aplicaciones KOMATSU

En la Tabla 1.3 se especifican las variaciones que puede sufrir la dimensión señalada en la figura, según el modelo de motoniveladora de que se trate.

TABLA 1.3. Variación de la dimensión señalada en la figura, según el modelo de motoniveladora.

CARACTERISTICAS	DIMENSIONES (m)
A= Distancia entre el extremo del escarificador y el centro de las ruedas traseras en tándem	2.56 – 3.49
ALCANCE DEL ESCARIFICADOR:	
Ángulo de corte	38° - 80°
Altura máxima de levantamiento	0.55– 0.675
Profundidad máxima de excavación	0.30 – 0.48

*Fuente: Manual de Especificaciones y Aplicaciones KOMATSU

La potencia de sus motores varía de 115 a 300 HP, y son capaces de alcanzar velocidades de hasta 45 km/h cuando se desplazan de un lugar a otro sobre caminos bien conformados.

Las motoniveladoras tienen uno o dos ejes de tracción, pudiendo ser de eje trasero sencillo o de eje trasero en tándem como se muestra en las Figuras 1.16 y 1.17.

Las de eje simple se denominan motoconformadoras, y se utilizan para el mantenimiento de carreteras pavimentadas. Las de mayor uso son sin embargo las de tres ejes, uno delantero articulado al brazo del bastidor y dos traseros en tándem, esta disposición ofrece mayores ventajas que le permiten nivelar con mayor precisión, gracias a que el eje tándem absorbe las oscilaciones de la máquina producidas por los desniveles del terreno.

En la Figura 1.16 se representa de manera esquemática una motoniveladora con eje trasero motriz sencillo.

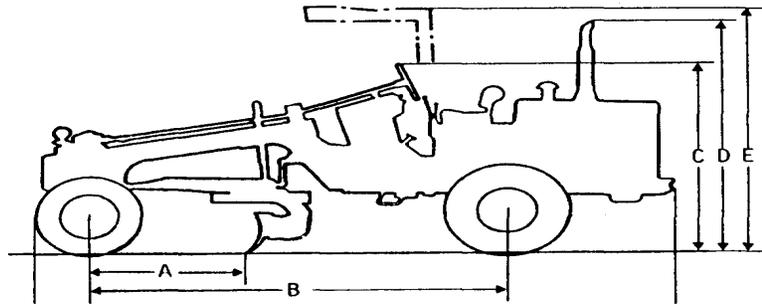


Figura 1.16. Motoniveladora con eje motriz trasero. Manual de Especificaciones y Aplicaciones KOMATSU

En la Tabla 1.4 se indican las variaciones que pueden sufrir las dimensiones de la figura, en dependencia del modelo utilizado.

TABLA 1.4. Variación de las dimensiones señaladas en la figura, en dependencia del modelo utilizado.

CARACTERISTICAS	DIMENSIONES
A= Distancia hasta el borde de los cilindros de levantamiento de la hoja.	1.36 m.
B = Distancia entre ejes.	3.6 m.
C= Altura hasta la rueda del timón	2.27 m.
D= Altura hasta la punta del tubo de escape	2.735 m.
E= Altura total al instalar la cubierta de acero o lona.	2.905 m.
Ángulo de la articulación	30°
Ancho sobre las ruedas	
Delanteras	1.922 m.
Traseras	1.94 m.
Distancia al suelo	0.285 m.

*Fuente: Manual de Especificaciones y Aplicaciones KOMATSU

En la Figura 1.17 se representa de manera esquemática una motoniveladora con eje trasero en tándem.

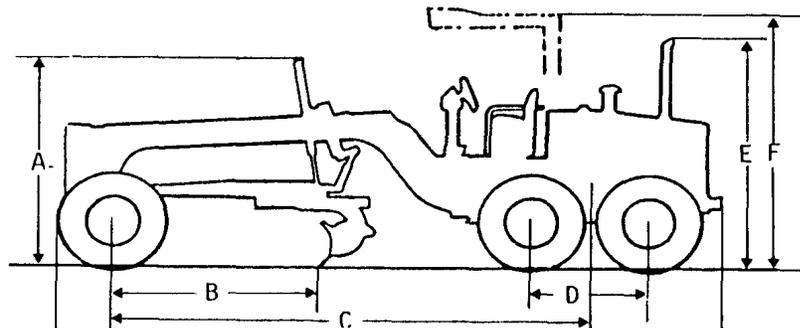


Figura 1.17. Esquema de una motoniveladora donde los ejes traseros son los motrices y se ubican en tándem. Manual de Especificaciones y Aplicaciones KOMATSU

En la Tabla 1.5 se indican las variaciones que pueden sufrir las dimensiones de la figura, en dependencia del modelo utilizado.

TABLA 1.5. Variación de las dimensiones señaladas en la figura, en dependencia del modelo utilizado.

CARACTERISTICAS	DIMENSIONES
A= Altura hasta el borde de los cilindros de levantamiento de la hoja.	1.93 m. – 2.90 m.
B = Distancia entre el centro de los neumáticos delanteros y el borde de la hoja.	2.11 m. – 2.90 m.
C= Distancia entre ejes.	4.90 m. – 6.45 m.
D= Distancia entre los centros de las ruedas traseras en tándem.	1.19 m. – 1.73 m.
E= Altura hasta la punta del tubo de escape.	2.78 m. – 3.365 m.
F = Altura total al instalar la cubierta de acero o lona.	3.20 m. – 3.36 m.
Ángulo de la articulación	26° - 30°
Ancho sobre las ruedas	
Delanteras	2.04 m. 2.80 m.
Traseras	2.05 m. – 2.80 m.
Distancia al suelo	0.34 m. – 0.410 m.

*Fuente: Manual de Especificaciones y Aplicaciones KOMATSU

Por ser una máquina de comandos sensibles usada en operaciones de acabado, su rendimiento operacional depende en gran medida de la buena planificación de las operaciones a ser ejecutadas y de la habilidad del operador.

Son máquinas especialmente construidas para efectuar trabajos de mezclado, conformación, nivelación y afinado, entre los cuales se pueden citar los siguientes:

- Conformación y nivelación de plataformas y de terraplenes
- Mezclado, revoltura y extendido de materiales
- Extendido de mezclas asfálticas
- Reperfilado y afinado del movimiento de tierras
- Apertura y limpieza de cunetas de drenaje superficial
- Remoción y desbroce de vegetación
- Conformación y mantenimiento de taludes de corte
- Regularización de capas que serán compactadas en los terraplenes
- Mantenimiento de caminos en general.

1.8. Características del suelo que influyen en la productividad de los tractores motoniveladores.

La productividad de los tractores destinados a la nivelación de terrenos, depende de varios factores entre los que se pueden citar: las dimensiones de su hoja topadora, la potencia del motor, el tipo de suelo (granulometría, forma de las partículas, contenido de roca, humedad, etc.), de la velocidad que puede alcanzar la máquina, de la distancia a la que se debe empujar el material excavado, de la habilidad del operador, etc.

Mientras más grandes sean las partículas del suelo, mayor dificultad existirá a la penetración de la cuchilla. Las partículas de bordes cortantes dificultan la acción de volteo que produce la hoja, exigiendo una mayor potencia.

Cuando no hay vacíos, o son muy pocos, la mayor parte de la superficie de cada partícula está en contacto con otras. Esto constituye una ligazón que debe romperse. Un material bien nivelado carece de vacíos y es generalmente muy denso, de modo que es difícil extraerlo del banco.

En contenido de agua, si el material está muy húmedo pesa más, y se necesita por tanto más potencia para moverlo. Con un grado óptimo de humedad, es muy bajo el contenido de polvo, resulta muy fácil empujar y el operador no se fatiga.

1.9. Características técnicas del tractor YTO 1604.

En las tablas 1.6, 1.7 y 1.8 anexo 1, se pueden consultar las características técnicas del tractor objeto de estudio y las de su sistema de transmisión.

De las tablas se deduce, que el tractor YTO 1604 es un tractor de destinación agrícola montado sobre cuatro ruedas motrices, todas en dependencia de las necesidades de trabajo o marcha, con una fuerza de tracción nominal de 37 kN.

Con respecto a la distribución de su peso sobre las ruedas, de la tabla se puede observar que sobre las ruedas delanteras se soportan solo 2955 kg, mientras que sobre las traseras se soportan 4165 kg, lo que hace pensar en la posibilidad de realizar la modificación hasta convertirlo en un equipo de empuje frontal, independientemente del peso que se adicione como consecuencia de la modificación que se haga.

Posee un embrague tipo seco de un solo disco, y una caja de cambio de velocidades tipo 4x(3+1) combinada con 12 marchas adelante y 4 marchas atrás.

MATERIALES
Y MÉTODOS

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS.

El trabajo consistió en investigar la posibilidad teórica de modificar un tractor que, habiendo sido diseñado para realizar las labores propias de la agricultura, requiere ser transformado para convertirlo en un equipo capaz de realizar además de sus funciones originales, aquellas que son propias de las máquinas de construcción destinadas en este caso al arreglo de caminos y nivelación de terrenos.

2.1 Metodología para determinar la factibilidad de la modificación, teniendo en cuenta las posibilidades energéticas del tractor objeto de estudio.

Para realizar el estudio se utilizó la bibliografía siguiente: (Hernán, 2011)

Primeramente, se determinaron las posibilidades máximas de empuje del tractor objeto de estudio, a partir de la multiplicación del coeficiente aproximado de su factor de tracción o agarre al suelo en dependencia del material a distribuir que aparece en la tabla 1.1 de la Revisión Bibliográfica, multiplicado por el peso del tractor como se indica en la ecuación 2.1.

$$PE_{\max} = G_t * C_t \quad (2.1)$$

Dónde:

PE_{\max} - Posibilidades de empuje máximo;

G_t - Peso total del tractor;

C_t - Coeficiente de tracción o agarre al suelo del neumático.

En una segunda etapa, se comprobó si la potencia del motor con que se equipa el tractor objeto de estudio, se corresponde con las características que deben poseer los motores destinados a la construcción de motoniveladoras, por ser muy parecido el trabajo que realizará el equipo modificado al de estas máquinas especiales.

El resultado obtenido se comparó con las características que deben poseer los motores para estas máquinas según recomendaciones que aparecen en la Revisión Bibliográfica.

Finalmente se determinó si la transmisión del tractor es capaz de realizar el trabajo según la modificación que se propone.

Para ello, se tuvo en cuenta cuál es la velocidad máxima del cambio al que se requiere subir, aun cuando después no se marche a esa velocidad según la ecuación 2.2.

$$\frac{Vel_{Max.Actual}}{Vel_{Max.Próxima}} \quad (2.2)$$

Dónde:

Vel. Max. Actual- Velocidad Máxima Actual;

Vel. Max. Próxima- Velocidad Máxima Próxima

Si el resultado del cálculo es mayor o igual a 0,65, quiere decir que se puede realizar la operación y la transmisión no se verá afectada según (H: y Ferrari, 2017)

2.2 Metodología para calcular la estabilidad longitudinal y transversal del tractor.

La importancia de conocer la estabilidad del tractor, radica en la necesidad de obtener una correcta valoración de su comportamiento para lograr una operación segura con el mejor rendimiento.

Para elaborar la metodología se revisó la bibliografía siguiente basandonos en cada una de ellas: (Timoshenko, 1957; Klein, 1963; Mingot, 1974; Parker, 1975; Shudakov, 1978; Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989; Botta, 2000; Careri, 2011; Anónimo., 2018b). De estas, la que más se usó fue la de Shudakov, 1978.

Se utilizaron las siguientes definiciones y nomenclatura.

- Altura del centro de gravedad: Y_g
- Coordenada en (x) del centro de gravedad; X_g
- Distancia entre ejes ó batalla: L
- Peso total del tractor : P
- Componente del peso total (P) sobre el tren trasero : Q_1
- Componente del peso total (P) sobre el tren delantero : Q_2
- Reacción del suelo sobre el tren trasero : R_1

- Reacción del suelo sobre el tren delantero : R_2
- Radio de ruedas traseras : R
- Radio de ruedas delanteras : r

En la Figura 2.1 se observa, que el centro de gravedad del tractor es el punto por donde pasa la recta de acción de su peso cualquiera sea su posición.

Su ubicación es importante, pues permite determinar la probabilidad de vuelco del equipo en el plano longitudinal y/o transversal, antes y después de ser modificado.

El centro de gravedad posee dos coordenadas:

(Y_g) - altura del centro de gravedad;

(X_g) - distancia desde el eje trasero hasta el plano medio del tractor que contiene el centro de gravedad.

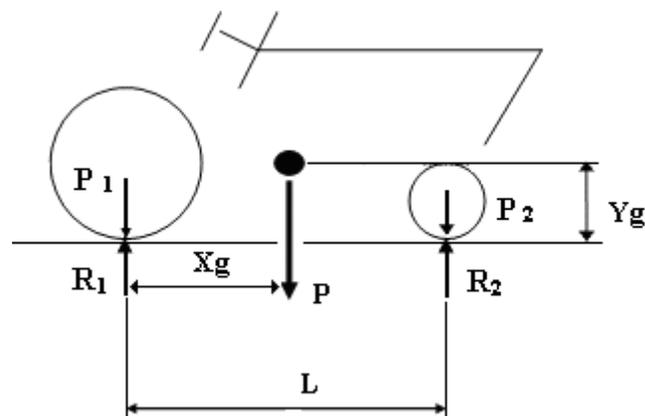


Figura 2.1. Fuerzas que actúan sobre el tractor en reposo.

Como se observa en la Figura 2.1, el tractor visto desde el plano lateral puede reducirse a un sistema de dos fuerzas paralelas P_1 y P_2 , que representan los pesos sobre sus puentes trasero y delantero respectivamente; o sea que el peso total del tractor (P), puede reemplazarse por dos fuerzas P_1 y P_2 aplicadas como se dijo anteriormente a ambos ejes, o por sus reacciones R_1 y R_2 , respectivamente.

En los tractores de diseño convencional (tracción en el eje trasero), aproximadamente $2/3$ del peso total (P) recae sobre el eje trasero (P_1), mientras que el 33% restante lo hace sobre su eje delantero (P_2).

Para el caso específico del tractor YTO 1604, por poseer doble tracción, la distribución de su peso total se comporta del siguiente modo según Anónimo, (2018).

Sobre el eje delantero recae el 41,50% de su peso total, mientras que sobre el eje trasero recae el 58,49% restante.

2.2.1 Determinación de la coordenada horizontal del centro de gravedad del tractor sin modificar.

Observando la Figura 2.2, que puede ser la del tractor parado o avanzando a velocidad constante sin tirar de ningún apero, se llega a conclusiones que permiten determinar (X_g), considerando que el equipo está en equilibrio y que la coordenada horizontal en realidad posee dos cotas:

L₁- Que es la distancia que existe desde el centro del eje trasero hasta el centro de gravedad;

L₂- distancia que existe desde el centro del eje delantero hasta el centro de gravedad.

Como se considera que el tractor está en equilibrio se cumplen las tres condiciones siguientes:

$$\sum F_x = 0; \quad \sum F_y = 0 \quad \text{y} \quad \sum M_1 = 0$$

Como que a cada acción se le opone una reacción de igual magnitud pero de signo contrario, se tiene que:

- A (P_1 y P_2) se le oponen (R_1 y R_2) respectivamente entonces:

$$|P_1 + P_2| = |R_1 + R_2| \quad |P_1| = |R_1| \quad |P_2| = |R_2|$$

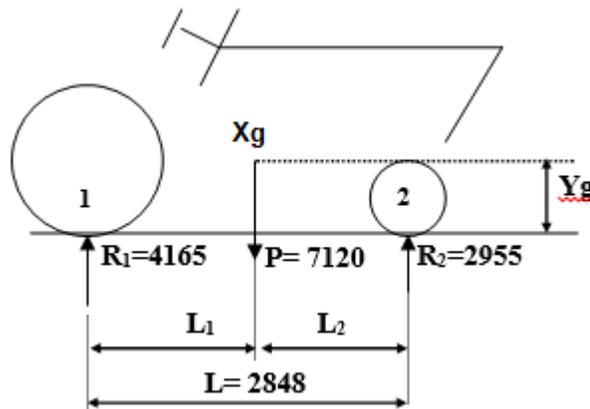


Figura 2.2. Reacciones del peso total del tractor aplicadas en el puente trasero y delantero.

De acuerdo con la figura, a partir de que se conozca el peso total del tractor y su distribución en los puentes delanteros y traseros, así como su Batalla (L) según Manual de Operación y Servicio del equipo, la coordenada (Xg) se puede calcular del siguiente modo:

Haciendo momento en el punto 1 se obtiene:

$$\sum M_1 = P * L_1 - R_2 * L = 0$$

De donde:

$$P * L_1 = R_2 * L \quad \Rightarrow \quad L_1 = \frac{R_2 * L}{P} \quad (2.3)$$

dónde:

P- Peso total del tractor; kg

R₂- Reacción de la fuerza que produce el peso del tractor sobre el puente delantero; kg

L- Batalla; mm.

Haciendo momento en el punto 2 se obtiene:

$$\sum M_2 = R_1 * L - P * L_2 = 0$$

donde:

P- Peso total del tractor; kg

R₁- Reacción de la fuerza que produce el peso del tractor sobre el puente delantero; kg

L- Batalla; mm.

Por tanto:

$$P * L_2 = R_1 * L \quad \Rightarrow \quad L_2 = \frac{R_1 * L}{P} \quad (2.4)$$

2.2.2 Determinación de la coordenada horizontal del centro de gravedad del tractor modificado.

Para el caso del tractor modificado se procede de igual modo, solo que para ello es necesario considerar que la modificación representará un incremento de peso

de alrededor de 350 kg sobre el equipo que habrá que redistribuir como se indicó anteriormente en el punto 2.2.

En la Figura 2.3 se representa la nueva distribución de fuerzas sobre el equipo.

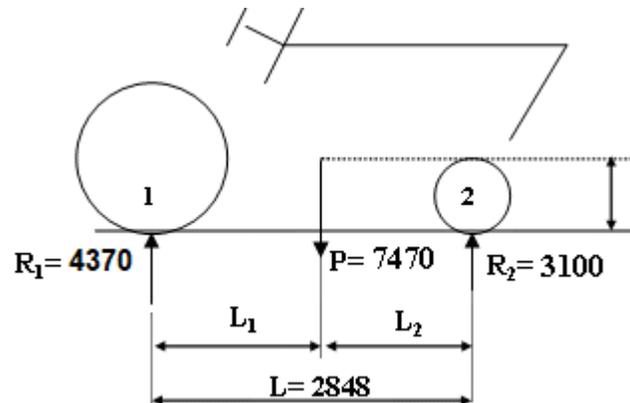


Figura 2.3 Sistema de fuerzas que actúan sobre el tractor modificado.

2.3 Determinación de la coordenada vertical del centro de gravedad.

Para elaborar la metodología se utilizó la bibliografía siguiente: (Shudakov, 1978)

La coordenada vertical del centro de gravedad, se determina generalmente por vía experimental.

Para ello, el tractor se coloca en una plataforma inclinada elevando su puente delantero a una altura $H = 0.5 - 1\text{m}$, que representa una inclinación de aproximadamente 20° , mientras que las ruedas traseras se colocan sobre una balanza que indicará el valor de la carga vertical que se traslada a las mismas con el equipo inclinado como se explicó anteriormente.

Para estas condiciones se establece el sistema de ecuaciones que permite determinar con gran exactitud la coordenada vertical del centro de gravedad del equipo en cuestión.

Sin embargo, por carecerse del equipamiento necesario, en el estudio se determinó la coordenada vertical del centro de gravedad por analogía con los ejemplos descritos en: (Anónimo., 2018b) Previamente se determinaron los radios de los neumáticos del tractor como se muestra en la Figura 2.4, para lo cual se utilizó una cinta métrica con una escala de precisión de 1mm.



Figura 2.4. Determinación de los radios de las ruedas delanteras y traseras del tractor.

2.3.1 Determinación de la coordenada vertical del centro de gravedad del tractor sin modificar.

La coordenada vertical del centro de gravedad se determinó entonces de acuerdo al sistema de fuerzas que actúa sobre el tractor inclinado como se muestra en la Figura 2.5.

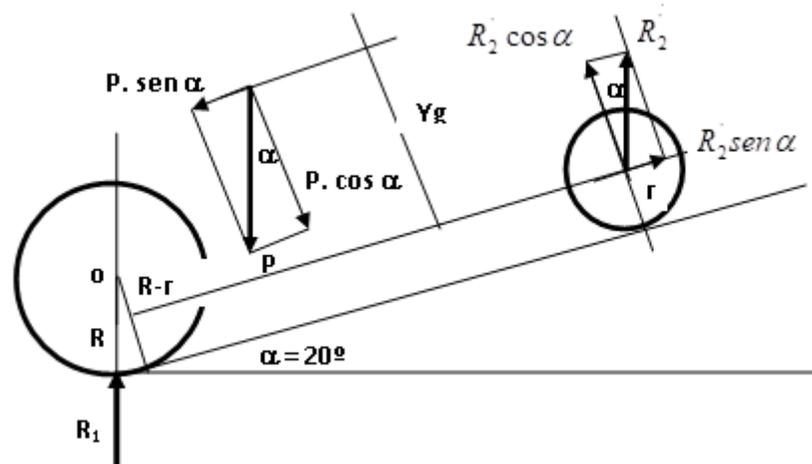


Figura 2.5. Sistema de fuerzas que actúan sobre el tractor sin modificar situado sobre una plataforma inclinada a 20° con respecto a la horizontal.

donde:

R'_2 – Carga en el eje delantero cuando el tractor se inclina 20°

De acuerdo con la figura:

$$R_2' * \text{sen}\alpha * (R - r) + R_2' * \text{cos}\alpha * L + P * \text{sen}\alpha * (Y_g - R) = P * \text{cos}\alpha * X_g \quad (2.5)$$

De donde se despeja Y_g para obtener el valor de la coordenada que se busca.

2.3.2 Determinación de la coordenada vertical del centro de gravedad del tractor modificado.

Para el caso del tractor modificado se procede de igual modo, considerando el incremento de peso que representará la modificación.

2.4 Cálculo de la probabilidad de vuelco longitudinal (α_{lim}) de ascenso del tractor.

Considerando la posición del tractor de la Figura 2.5, se puede observar que si se incrementa el ángulo de ascenso (α) del mismo, llegará a un punto en que el momento de vuelco, dado por ($P \cdot \text{sen} \alpha \cdot Y_g$), va a ser igual al momento restituyente del mismo definido por ($P \cdot \text{cos} \alpha \cdot L_1$).

En este caso ($R_2 = 0$) porque la rueda delantera se encuentra apenas tocando el suelo debido a que el tractor está a punto de volcar.

Al ángulo al que se igualan dichos momentos se lo denomina ángulo límite y se representa como (α_{lim}).

Con ángulos menores que (α_{lim}), la línea recta de acción de la fuerza (P) pasa a la derecha del punto 1, generando un momento positivo (horario) o restituyente.

Cuando se alcanza (α_{lim}), la línea recta de acción de la fuerza (P) pasa exactamente por el punto 1 igualándose los momentos restituyente y de vuelco.

Cuando se supera el (α_{lim}), la recta de acción de (P) pasa a la izquierda del punto 1, generando un momento negativo (antihorario) produciendo el vuelco longitudinal del tractor que gira sobre el punto 1.

Haciendo momento en el punto 1, (R_1 no produce momento).

De la Figura 2.5, y suponiendo la condición límite se obtiene:

$$\sum M_1 = R_2' * \text{cos}\alpha * L - P * \text{sen}\alpha * Y_g = P * \text{cos}\alpha * Y_g$$

En estas condiciones se dice que el tractor está en equilibrio inestable. Está ascendiendo un plano tan inclinado que la recta de acción de (P) pasa por el punto 1 y como consecuencia, el momento restituyente es igual al momento de vuelco.

En el ángulo límite ($R_2=0$), implica que $P \cdot \cos \alpha \cdot L_1 = P \cdot \operatorname{sen} \alpha \cdot Y_g$

Por tanto, el ángulo límite de ascenso se calcula para el caso del tractor sin modificar y modificado como:

$$\operatorname{Tg} \alpha_{\text{lim}} = \frac{L_1}{Y_g}$$

De donde:

$$\alpha_{\text{lim}} = \operatorname{arccot} g \left(\frac{L_1}{Y_g} \right) \quad (2.6)$$

2.5 Cálculo de (β_{lim}) de vuelco lateral del tractor.

Es posible que ocurra el vuelco lateral, cuando el tractor se desplaza en forma perpendicular a una pendiente, por ejemplo, cuando se trabaja siguiendo las curvas de nivel del terreno o cuando gira en una curva muy cerrada y/o lo hace a gran velocidad.

2.5.1 Cálculo de (β_{lim}) de vuelco lateral del tractor sin modificar.

Para el caso específico del tractor sin modificar, en la Figura 2.6 se representa el sistema de fuerzas que actúa sobre el tractor situado sobre un plano inclinado con peligro de vuelco lateral por pendiente excesiva.

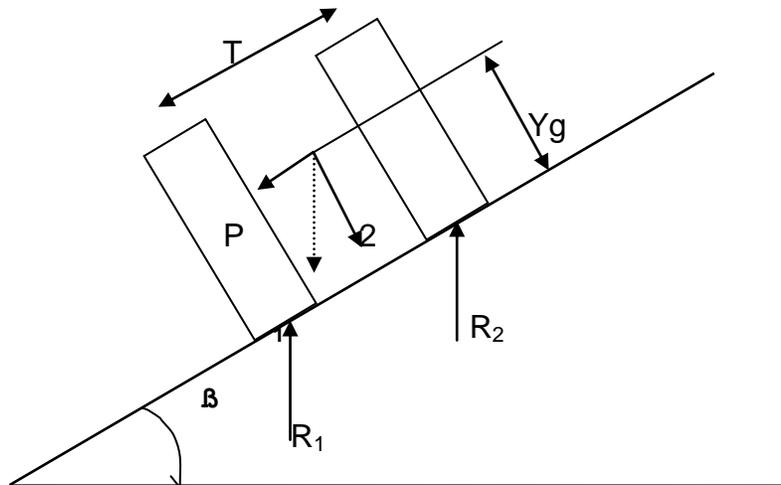


Figura 2.6 Sistema de fuerzas y brazos que actúan sobre el tractor en caso de vuelco lateral por pendiente excesiva

En la figura:

T- Trocha del tractor;

P- peso del tractor;

Y_g - coordenada vertical del centro de gravedad;

R_1 y R_2 – Reacciones sobre las ruedas izquierda y derecha del tractor

Haciendo momento en el punto 1 de la figura y considerando que el tractor se encuentra en la condición límite ($R_2 = 0$), la recta de acción de (P) pasa por el punto (1) y se verifica que:

$$\sum M_1 = P * \cos \beta * T/2 - R_2 * \text{sen} \beta * Y_g = 0$$

$$\frac{\text{Sen} \beta}{\text{Cos} \beta} = \frac{T/2}{Y_g}$$

De donde:

$$\text{tg} \beta = \frac{T/2}{Y_g}$$

$$\beta_{\text{lim}} = \text{arctg} \frac{T/2}{Y_g} \tag{2.7}$$

2.5.2 Cálculo de (β_{lim}) de vuelco lateral del tractor modificado.

Para calcular el ángulo límite de vuelco lateral del tractor (α_{lim}) modificado, se procede de igual modo, considerando la nueva posición en altura del gravedad del mismo por concepto del incremento de peso que representa la modificación.

2.6 Caso del tractor tirando de carretas autobasculantes en el plano horizontal.

2.6.1 Caso del tractor sin modificar.

En los análisis de equilibrio dinámico se usarán (P_1 y P_2) en lugar de (P), que se calcularon de la siguiente manera de acuerdo a la Figura 2.7.

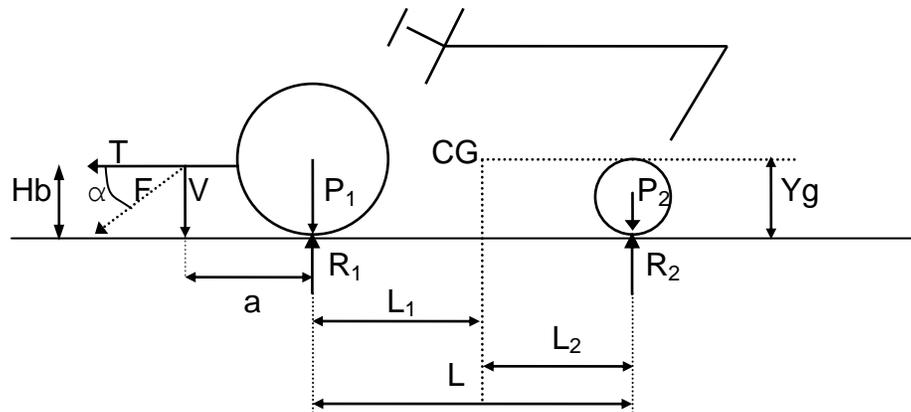


Figura 2.7 Sistema de fuerzas y brazos que actúan sobre el tractor tirando de carretas autobasculantes en el plano horizontal.

$$P_1 = \frac{P * L_2}{L} \quad P_2 = \frac{P * L_1}{L} \quad (2.8)$$

Para obtener las componentes horizontal (T) y vertical (V) de la fuerza (F), se tiene en cuenta el ángulo (α) de inclinación de la barra de tiro.

De la misma forma que se analizó para (Qt), cuando se emplea (F) no deben emplearse sus componentes y viceversa: (de usar T y V no deberá usarse F).

Finalmente, las componentes horizontal (T) y vertical (V) de la fuerza (F) aplicada a la barra de tiro se determinaron como:

$$T = F * \cos\alpha \quad (2.9)$$

$$V = F * \sen\alpha \quad (2.10)$$

Las reacciones que opone el suelo a las fuerzas (P_1 y P_2) se denominan (R_1 y R_2) respectivamente, y corresponden a la sumatoria de las cargas estáticas y dinámicas que se encuentran sobre los puntos (1 y 2).

A dicha suma de cargas se le denomina peso adherente y se representan como (Pad_1 y Pad_2).

Quiere decir, que las reacciones que opone el suelo se corresponden con los pesos adherentes trasero y delantero (Pad_1 y Pad_2 respectivamente).

De estas reacciones del suelo sobre las ruedas del tractor, depende la capacidad de tracción de las mismas sobre el suelo. Las reacciones del suelo y los pesos adherentes tienen igual módulo y sentido contrario. Es decir, que el valor de (R_1 y Pad_1) es el mismo, solo que presentan, la primera, sentido ascendente (hacia arriba) y el segundo, descendente, estando aplicados ambos en el mismo punto (1 ó 2).

$$|R_1| = |P_{ad1}|$$

Para calcular (Pad_1 y Pad_2) se hace momento $\Sigma M = 0$ en los puntos 1 y 2 de la figura 2.7 y en lugar de colocar R_1 y R_2 se colocan sus equivalentes Pad_1 y Pad_2 que como se ha visto, poseen el mismo módulo o valor absoluto.

De éste modo:

$$\sum M_1 = P_2 * L - P_{ad2} * L - V * a - T * Hb = 0$$

$$P_{ad2} * L = P_2 * L - V * a - T * Hb$$

$$P_{ad2} = \frac{P_2 * L - V * a - T * Hb}{L}$$

$$P_{ad2} = P_2 - \frac{V * a}{L} - \frac{T * Hb}{L} \quad (2.11)$$

P_2 = peso estático que puede ser con o sin lastre.

$\frac{T * Hb}{L}$ = transferencia de peso por esfuerzo de tracción y posición de la barra.

$\frac{V * a}{L}$ = carga dinámica transferida al eje trasero.

$$\sum M_2 = -P_1 * L + P_{ad1} * L - V * (a + L) - T * Hb = 0$$

$$P_{ad1} * L = P_1 * L + V * (a + L) + T * Hb$$

$$P_{ad1} = P_1 + \frac{V * (a + L)}{L} + \frac{T * Hb}{L} \quad (2.12)$$

$$\frac{T * Hb}{L} + \frac{V * (a + L)}{L} = \frac{T * Hb}{L} + \frac{V * a}{L} + V$$

$\frac{T * Hb}{L} + \frac{V * a}{L}$ = transferencia de peso al puente trasero.

Se debe destacar que aún cuando se produzca una transferencia de peso del puente delantero al trasero en las condiciones dadas, sobre el puente delantero no debe recaer menos del 15% del peso total del tractor para que éste no pierda maniobrabilidad.

2.6.2 Caso del tractor modificado.

En la figura 2.8 se representan las fuerzas y brazos que actúan sobre el tractor una vez modificado, que constituyen la base para los cálculos correspondientes.

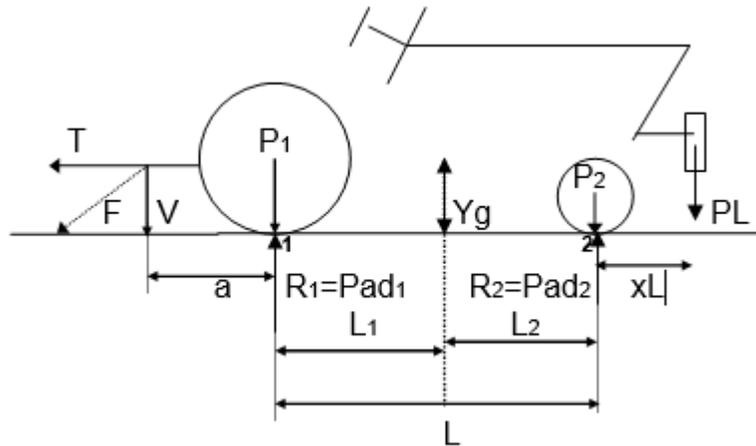


Figura 2.8 Sistema de fuerzas y brazos que actúan sobre el tractor modificado tirando de carretas autobasculantes en un plano horizontal.

De la figura:

PL- Peso del lastre que representa la modificación, kg

xL Distancia entre la recta de acción de PL y el plano medio de la rueda perteneciente al eje delantero.

Se procede del siguiente modo:

Haciendo momento en el punto 2 de la figura 2.8 y suponiendo que está en equilibrio se obtiene:

$$\sum M_2 = PL * xL + P_{ad1} * L - P_1 * L - V(a + L) - T * Hb = 0$$

$$P_{ad1} = \frac{P_1 * L}{L} + \frac{V(a + L)}{L} + \frac{T * Hb}{L} - \frac{PL * xL}{L}$$

$$P_{ad1} = P_1 + \frac{V(a + L)}{L} + \frac{T * Hb}{L} - \frac{PL * xL}{L} \quad (2.13)$$

Haciendo momento en el punto 1 de la figura 2.8 y suponiendo que está en equilibrio queda:

$$PL * (xL + L) + P_2 * L - P_{ad2} * L - V * a - T * Hb = 0$$

$$P_{ad2} = P_2 + \frac{PL * (xL + L)}{L} - \frac{V * a}{L} - \frac{T * Hb}{L} \quad (2.14)$$

2.7 Metodología para calcular la productividad del tractor modificado.

La productividad del tractor modificado, teniendo en cuenta su similitud con el

trabajo que realizan las motoniveladoras, depende de las dimensiones de su hoja de corte, del tipo de suelo, de la velocidad que puede alcanzar la máquina, del número de pasadas necesario para ejecutar el trabajo, del espesor o profundidad de la capa, de la habilidad del operador, etc.

La productividad teórica en área (m^2/h) se determina por la ecuación 2.14 como:

$$Q_{AT} = \frac{60 * d * (L_e - L_o)}{N * T}; \quad \left(\frac{m^2}{h} \right) \quad (2.15)$$

La productividad teórica en volumen se calcula por la ecuación 2.15 como:

$$Q_T = \frac{60 * d * e * (L_e - L_o)}{N * T}; \quad \left(\frac{m^3}{h} \right) \quad (2.16)$$

donde:

Q_{AT} = Productividad teórica en área [m^2/hra]

Q_T = Productividad teórica en volumen [m^3/hra]

d = distancia de trabajo recorrida por el equipo [metros]

e = espesor de la capa, definida en función de la especificación que rige la obra [metros]

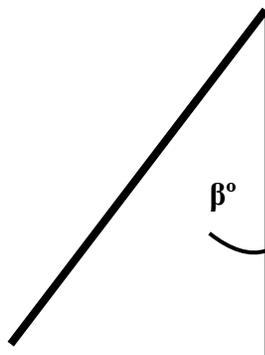
L_e = ancho útil en cada pasada, (depende del ángulo de trabajo elegido para la hoja de corte)[m]

L_o = ancho de traslape [m]

N = número de pasadas necesarias para ejecutar el trabajo

T = tiempo de duración del ciclo de trabajo para a ejecutar una pasada [minutos]

La longitud efectiva de la hoja (L_e) varía de acuerdo al ángulo de trabajo de la hoja de corte, su valor depende del tipo de trabajo, de las características del material, el tamaño de la máquina, etc., en general se eligen ángulos en el rango de $\beta = 15$ a 50 grados como se muestra en la Figura 2.9.



$$L_e = L * \text{Cos } \beta$$

Para un ángulo de 15°

$$L_e = L * \text{cos } 15^\circ = 0.97 * L$$

L **L_e** Para un ángulo de 50°

$$L_e = L * \cos 50^\circ = 0.64 * L$$

L = Longitud de la hoja

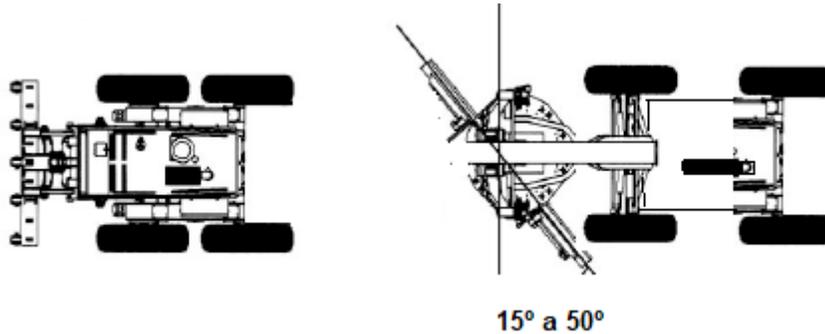


Figura 2.9 Variación de la longitud efectiva de la hoja (Le), en dependencia del ángulo de trabajo de la hoja de corte

El ancho de traslape representa el ancho de la faja que la máquina repasa entre la pasada anterior y la siguiente, en condiciones normales tiene un valor promedio de 20 cm como se muestra en la Figura 2.10.

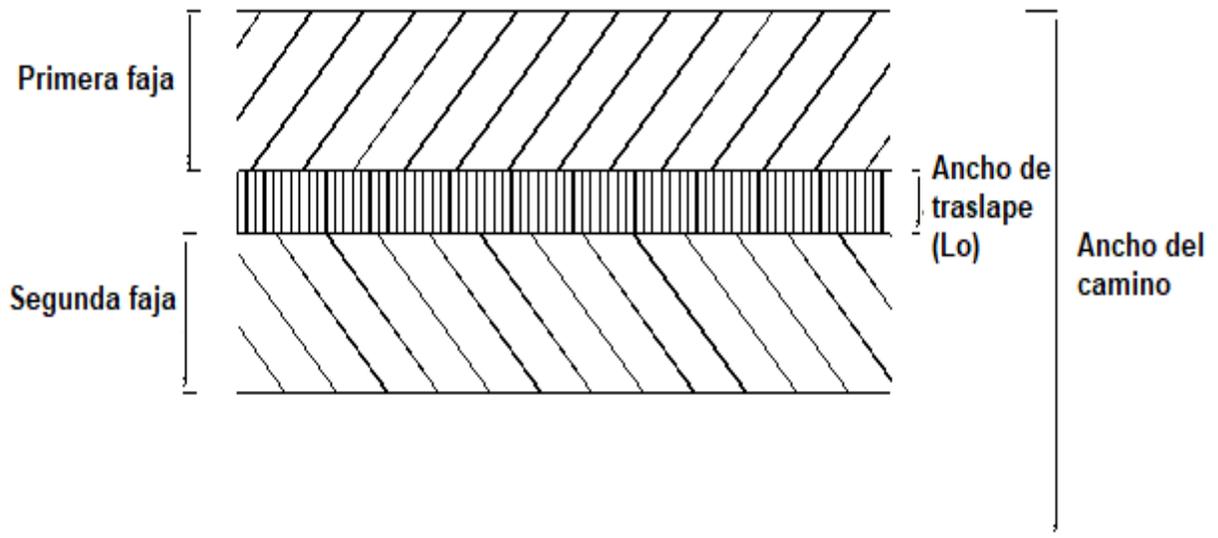


Figura 2.10 Ancho de traslape en el trabajo que realiza una motoniveladora.

El espesor de la capa en la construcción de terraplenes, se refiere al espesor de la capa de relleno, la cual puede ser medida antes o después de la compactación, según el caso será espesor suelto [e_s], o espesor compactado [e_c]. En los trabajos

de nivelación, escarificado, perfilado, reparación de caminos, limpieza de maleza, conformación de subrasantes y reparación de caminos, la productividad de la motoniveladora se calcula en superficie [m²/h].

La velocidad de trabajo es el factor más difícil de evaluar, porque en gran medida depende de la habilidad del operador y del tipo de material que se esté trabajando, además, la velocidad depende del tamaño de la máquina, del espesor de la capa y del tipo de trabajo.

Para condiciones normales se puede utilizar, como referencia, los valores que se representan en la Tabla 2.1.

TABLA 2.1 Velocidades de trabajo.

Nivelación	5,0 – 6,0	Km/hra
Escarificado	4,0 – 5,0	Km/hra
Perfilado	4,5 – 6,5	Km/hra
Limpieza de maleza	6,5 – 8,5	Km/hra
Conformación de subrasantes	4,0 – 6,0	Km/hra
Mezcla de materiales	4,0 – 6,0	Km/hra
Reparación de caminos	2,0 – 5,0	Km/hra
Excavación de zanjas	1,5 – 3,0	Km/hra
Terminación de orillas	1,0 – 2,0	Km/hra
Explanación de campo	1,5 – 4,0	Km/hra
Velocidad de retorno	15,0	Km/hra

*Fuente: Texto guía “Maquinaria y Equipo de Construcción” Ing. Jaime Ayllon

El número de pasadas depende del tipo de trabajo que ejecutará la motoniveladora, de las características del material y del espesor de la capa.

A modo de ejemplo, en la Tabla 2.2 se relacionan algunos valores considerados propios de condiciones normales de trabajo.

TABLA 2.2 Número de pasadas

Para nivelación	N = 5 a 7
Para limpieza de maleza	N = 3 a 5
Para escarificado de suelos	N = 1 a 2
Para mezcla de materiales	N = 8 a 10
Para conformación de subrasantes	N = 5 a 7

*Fuente: Texto guía “Maquinaria y Equipo de Construcción” Ing. Jaime Ayllon

La duración del ciclo de trabajo es el tiempo total equivalente a la sumatoria de los tiempos utilizados en las operaciones de corte, mezclado, nivelación y/o escarificado, y en las maniobras de viraje.

La duración del ciclo depende de la longitud del tramo de trabajo [d] en metros y de la velocidad que la máquina puede imprimir en las diferentes operaciones.

Se determina por la ecuación 2.17 como:

$$\mathbf{T} = \frac{\mathbf{d}}{\mathbf{V}_a} + \frac{\mathbf{d}}{\mathbf{V}_r} + \mathbf{t}_f \quad (2.17)$$

Dónde:

d = distancia de trabajo [m]

v_a = velocidad de avance [m/min]

v_r = velocidad de retroceso [m/min]

t_f = tiempo fijo [t_f = 0 a 1 minuto]

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Resultados del estudio para determinar la factibilidad de la modificación, teniendo en cuenta las posibilidades energéticas del tractor objeto de estudio.

En correspondencia con lo planteado en la metodología 2.1, el coeficiente aproximado del factor de tracción o agarre con el suelo del tractor modificado obtenido fue de 0,65, toda vez que el mismo se encuentra montado sobre neumáticos y el material a distribuir es el de canteras.

Considerando que la modificación podría representar un incremento del peso total del tractor de aproximadamente 350 kg, que recaería fundamentalmente sobre su puente delantero, el peso total del mismo una vez modificado sería de 7470 kg.

Por tanto:

$$PE_{\max} = G_t * C_t = 7470 * 0,65 = 4855kg$$

De donde se infiere que el tractor una vez modificado, ejercería sobre el material a distribuir una fuerza de 4855 kg, suficiente para realizar esas funciones según recomendaciones que aparecen en Ayllon, (2017).

Al comprobar si la potencia del motor con que se equipa el tractor objeto de estudio se corresponde con las características que deben poseer los motores destinados a la construcción de motoniveladoras, se obtuvo el siguiente resultado: De la tabla 1.7 anexo 1, se conoce que el motor del tractor YTO 1604 posee una potencia de 118 kw.

Si se sabe que:

1 HP = 0,74 kw, entonces:

$$118/0,74 = 159HP$$

Valor que sobre pasa en 44 HP, el valor mínimo de 115 HP que debe poseer como mínimo el motor de los equipos destinados a la nivelación del terreno según Manual de Especificaciones y Aplicaciones KOMATSU.

Por tanto, desde el punto de vista de la potencia que es capaz de generar el motor del YTO 1604 objeto de estudio, la modificación es factible.

Para calcular si la transmisión del tractor es capaz de realizar el trabajo según la modificación que se propone, se consideró, según tabla 1.6 anexo 1, que se marcha en primera, en baja, y se quiere pasar a segunda, posteriormente se realizó el mismo cálculo para cuando se marcha en segunda y se quiere pasar a tercera en el mismo régimen de velocidad.

En correspondencia con la ecuación 2.2, los resultados indicaron lo siguiente:

Primer caso: Cuando se marcha en primera velocidad y se quiere pasar a segunda

$$\frac{Vel_{Max.Actual}}{Vel_{Max.Proxima}} \Rightarrow \frac{2.25}{3.42} = 0.65$$

Segundo caso: Cuando se marcha en segunda y se quiere pasar a tercera.

$$\frac{Vel_{Max.Actual}}{Vel_{Max.Proxima}} \Rightarrow \frac{3.42}{3.94} = 0.86$$

De donde se infiere, que en ambos casos el valor obtenido supera o es igual al 0,65 mínimo que, según Ferrari, (2017), permite realizar la operación sin que la transmisión se vea afectada.

Por tanto, desde éste punto de vista, la modificación también es factible.

3.2 Resultados del estudio para calcular la estabilidad longitudinal y transversal del tractor sin modificar y modificado.

3.2.1 Caso del tractor sin modificar:

En correspondencia con lo planteado en las metodologías 2.2 y 2.2.1, en la Figura 3.1 se representan las fuerzas y brazos que actúan sobre el tractor sin modificar para calcular la coordenada horizontal de su centro de gravedad (X_g).

Como se observa en la figura, la coordenada horizontal del centro de gravedad del tractor está determinada por L_1 y L_2 , que representan las distancias desde los centros de ejes de ruedas traseros y delanteros respectivamente hasta el centro de gravedad, así como por R_1 y R_2 , reacciones del peso del equipo en los puentes trasero y delantero.

Se procedió del siguiente modo:

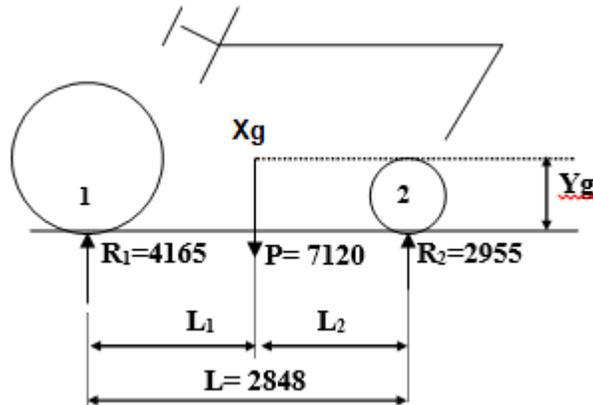


Figura 3.1. Sistema de fuerzas y brazos que actúan sobre el tractor sin modificar.

Determinación de la coordenada horizontal del centro de gravedad.

Cálculo de L_1 .

Haciendo momento en el punto 1 se obtiene:

$$\sum M_1 = P * L_1 - R_2 * L = 0$$

donde:

P- Peso total del tractor; kg

P= 7120 kg, según características técnicas del tractor YTO 1604, tabla 1.6 anexo 1.

$R_2 = 2955$ kg, fuerza de reacción del peso en el puente delantero, según distribución de peso del tractor de acuerdo con sus características técnicas, tabla 1.6 anexo 1.

L- Distancia entre ejes o batalla del tractor; mm

L= 2848 mm, de acuerdo con las características técnicas del tractor, tabla 1.6 anexo 1.

Por tanto:

$$L_1 = \frac{R_2 * L}{P} = \frac{2955 * 2848}{7120} = 1182mm$$

Es decir, que la coordenada horizontal del centro de gravedad del tractor sin modificar se encuentra ubicada a 1182mm de su eje trasero.

Cálculo de L_2 .

Haciendo momento en el punto 2 se obtiene:

$$\sum M_2 = R_1 * L - P * L_2$$

donde:

$R_1 = 4165$ kg, fuerza de reacción del peso en el puente trasero, según distribución de peso del tractor de acuerdo con sus características técnicas, tabla 1.6 Revisión Bibliográfica;

$$L_2 = \frac{R_1 * L}{P} = \frac{4165 * 2848}{7120} = 1666 \text{ mm}$$

De donde se deduce, que el centro de gravedad del tractor sin modificar se encuentra situado a 1182mm del puente trasero y a 1666mm del puente delantero.

3.2.2 Caso del tractor modificado.

Procedimiento similar se siguió para determinar la coordenada horizontal del centro de gravedad del tractor modificado, considerando que la misma representa una sobre carga de alrededor de 350 kg teniendo en cuenta sus particularidades.

Por tanto:

$R_2 = 3100$ kg . Considerando la nueva distribución de peso del tractor.

La Figura 3.2 muestra la nueva distribución de fuerzas y reacciones aplicadas a los puentes delanteros y traseros del tractor, derivadas de su incremento de peso.

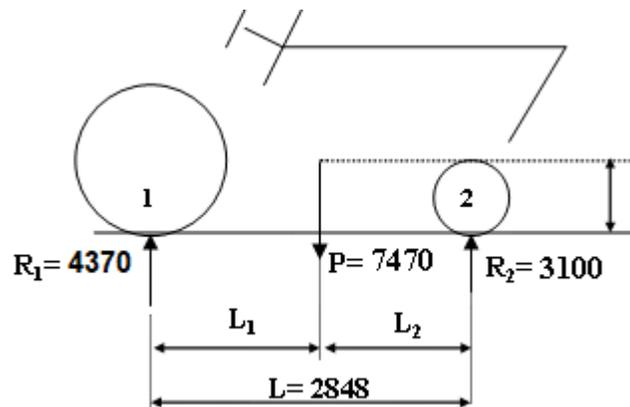


Figura 3.2. Sistema de fuerzas que actúan sobre el tractor modificado.

Cálculo de L_1 .

Haciendo momento en el punto 1 se obtiene:

$$\sum M_1 = P * L_1 - R_2 * L = 0$$

donde:

P- Peso total del tractor; kg

P= 7470 kg, según modificación.

R₂= 3100 kg, fuerza de reacción del peso en el puente delantero después de la modificación y según distribución de peso del tractor

L- Distancia entre ejes o batalla del tractor; mm

L= 2848 mm, de acuerdo con las características técnicas del tractor, tabla 1.6

Revisión Bibliográfica;

Por tanto:

$$L_1 = \frac{R_2 * L}{P} = \frac{3100 * 2848}{7470} = 1181mm$$

Valor que se corresponde con el calculado anteriormente.

Cálculo de L₂.

Haciendo momento en el punto 2 se obtiene:

$$\sum M_2 = R_1 * L - P * L_2$$

donde:

R₁= 4370 kg, fuerza de reacción del peso en el puente trasero, según nueva distribución de peso del tractor de acuerdo con el incremento que representa montar la pala sobre el mismo.

$$L_2 = \frac{R_1 * L}{P} = \frac{4370 * 2848}{7470} = 1667mm$$

De donde se deduce, que el centro de gravedad del tractor modificado se encuentra situado entonces a 1181 mm del puente trasero y a 1667mm del puente delantero, resultando ser imperceptible su variación con el incremento de peso que engendra la modificación.

3.3 Determinación de la coordenada vertical del centro de gravedad; (Yg).

3.3.1 Caso del tractor sin modificar.

Los radios determinados de las ruedas del tractor como se explicó en metodología 2.3, de acuerdo con la Figura 3.3 permitieron conocer lo siguiente:

R- Radio de la rueda trasera; mm

R = 949 mm

r- Radio de la rueda delantera; mm

r = 734 mm



Figura 3.3 Radios de las ruedas traseras y delanteras del tractor YTO 1604.

Por analogías como se explicó en la metodología 2.3, de los ejemplos analizados se deduce que cuando el tractor se inclina 20° con respecto a la horizontal, el peso sobre su eje delantero se reduce en aproximadamente 200 kg. Por tanto:

$$R_2' = 2955 - 200 = 2755 \text{ kg}$$

Si $P = 7120$ kg y $L = 2848$ de acuerdo con los datos del equipo. Entonces:

En la Figura 3.4 se representa la distribución de fuerzas y brazos que actúan sobre el tractor inclinado sin modificar.

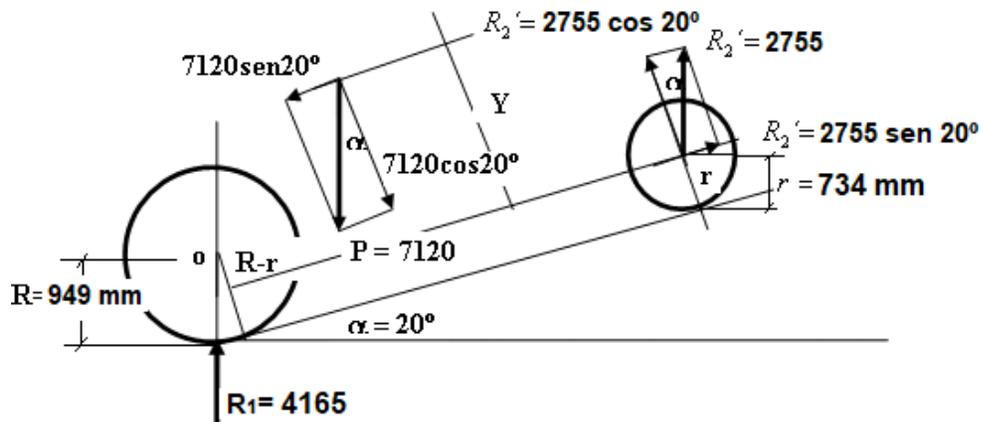


Figura 3.4 Sistema de fuerzas que actúan sobre el tractor inclinado a 20°, sin modificar.

De acuerdo con la figura:

$$R_2' \cdot \text{sen}\alpha \cdot (R - r) + R_2' \cdot \text{cos}\alpha \cdot L + P \cdot \text{sen}\alpha \cdot (Y_g - R) = P \cdot \text{cos}\alpha \cdot X_g$$

$$2755 \cdot (\text{sen}20^\circ) \cdot (949 - 734) + 2755 \cdot (\text{cos}20^\circ) \cdot 2848 + 7120 \cdot (\text{sen}20^\circ)(Y_g - R) = 7120 \cdot (\text{cos}20^\circ) \cdot 1182$$

$$2755(0.34)(215) + 2755(0.93)(2848) + 7120(0.34)(Y_g - 949) = 7120(0.93)(1182)$$

$$201390 + 7297003 + 2420(Y_g - 949) = 7826731$$

$$(Y_g - 949) = \frac{7826731 - 201390 - 7297003}{2420}$$

$$Y_g = 135 + 949$$

$$Y_g = 1084 \text{ mm}$$

De donde se deduce que la coordenada vertical del centro de gravedad del tractor sin modificar se encuentra ubicada a una altura de 1084 mm.

3.3.2 Caso del tractor modificado:

En la Figura 3.5 se representa la distribución del sistema de fuerzas y brazos que actúan sobre el tractor una vez modificado.

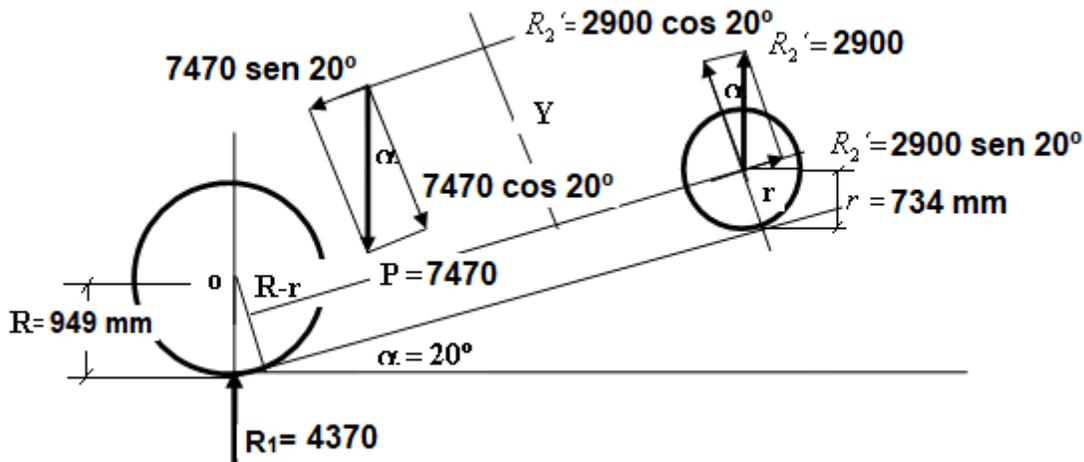


Figura 3.5 Sistema de fuerzas que actúan sobre el tractor inclinado a 20° una vez modificado.

Por tanto:

$$R_2' \cdot \text{sen}\alpha \cdot (R - r) + R_2' \cdot \text{cos}\alpha \cdot L + P \cdot \text{sen}\alpha \cdot (Y_g - R) = P \cdot \text{cos}\alpha \cdot X_g$$

$$2900(0.34)(215) + 2900(0.93)(2848) + 7470(0.34)(Y_g - 949) = 7470(0.93)(1181)$$

$$211990 + 7681056 + 2539(Y_g - 949) = 8204525$$

$$(Y_g - 949) = \frac{8204525 - 211990 - 7681056}{2539}$$

$$Y_g = 122 + 949$$

$$Y_g = 1071 \text{ mm}$$

De donde se deduce que una vez modificado, el centro de gravedad del tractor en el plano vertical se encontrará a una altura de 1071 mm.

En la Figura 3.6 se representan a modo de resumen las coordenadas del centro de gravedad del tractor sin modificar según los cálculos efectuados.

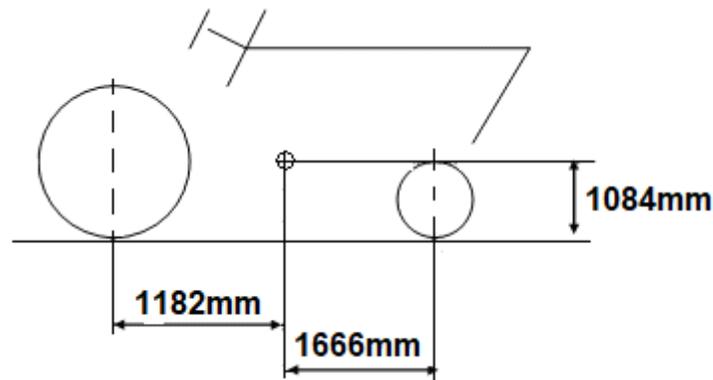


Figura 3.6. Coordenadas del centro de gravedad del tractor sin modificar.

De la figura se deduce, que el centro de gravedad del tractor sin modificar se encuentra ubicado a una distancia de 1666 mm del puente delantero, a 1182 mm del puente trasero, y a una altura de 1084 mm con respecto al suelo.

En la Figura 3.7 se representan a modo de resumen, las coordenadas del centro de gravedad del tractor modificado según los cálculos efectuados.

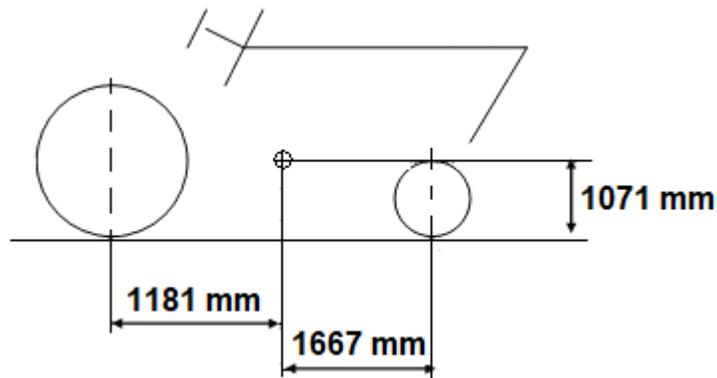


Figura 3.7. Coordenadas del centro de gravedad del tractor modificado.

De la figura se deduce, que el centro de gravedad del tractor modificado se encuentra ubicado a una distancia de 1667 mm del puente delantero, a 1181 mm del puente trasero, y a una altura de 1071 mm con respecto al suelo.

Del análisis de las figuras se infiere, que el incremento de peso sobre el puente delantero debido a la instalación en el mismo de la pala frontal, hace que el centro de gravedad del tractor baje 13 mm con respecto a su posición original, mientras que en el plano horizontal es insignificante su alteración, por lo que el tractor debe ganar en estabilidad y desde este punto de vista, la modificación es viable.

3.4. Resultados del estudio para calcular en ángulo límite (α_{lim}) de ascenso del tractor.

3.4.1 Caso del tractor sin modificar:

En correspondencia con lo explicado en la metodología 2.4, el ángulo límite de ascenso del tractor de acuerdo a la Figura 3.8 se determinó como:

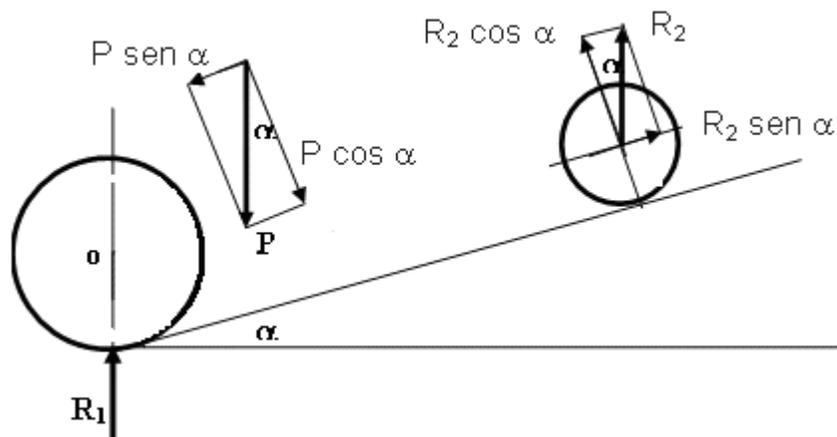


Figura 3.8 Diagrama de fuerzas que actúan sobre el tractor para determinar su ángulo límite de vuelco longitudinal.

Haciendo momento en el punto 1, ya que R_1 en las condiciones dadas no produce momento, de la Figura 3.8 se deduce que ($R_2 = 0$) suponiendo la condición límite.

Por tanto:

$$\alpha_{\text{lim}} = \text{arccot} g \left(\frac{L_1}{Yg} \right)$$

De donde:

$$\alpha_{\text{lim}} = \text{arccot} g \left(\frac{1182}{1084} \right) \Rightarrow \text{arccot} g1 \Rightarrow 56^{\circ}35'$$

Es decir, que sin modificar el tractor puede subir una cuesta de hasta $56^{\circ}35'$. A partir de ese valor se producirá su vuelco longitudinal hacia atrás.

3.4.2 Caso del tractor modificado:

Siguiendo el procedimiento anteriormente descrito, para el caso del tractor modificado se obtiene:

$$\alpha_{\text{lim}} = \text{arccot} g \left(\frac{1181}{1071} \right) \Rightarrow \text{arccot} g1.1 \Rightarrow 57^{\circ}29'$$

De donde se deduce, que cuanto más elevado se encuentre el centro de gravedad (Yg), menor va a ser la pendiente que podrá subir el tractor y por tanto, mayor será la probabilidad de vuelco en el plano longitudinal.

A modo de resumen se puede concluir, que la modificación mejora las posibilidades de ascenso del tractor sin peligro de vuelco hacia atrás en el plano longitudinal.

3.5. Resultados del estudio para determinar el ángulo límite de vuelco lateral del tractor (β_{lim}).

3.5.1. Caso del tractor sin modificar.

En correspondencia con lo planteado en la metodología 2.5.1, el sistema de fuerzas que actúa sobre el tractor en el plano transversal al mismo, capaz de hacerlo volcar de manera lateral se representa en la Figura 3.9 sin haber sido modificado aún.

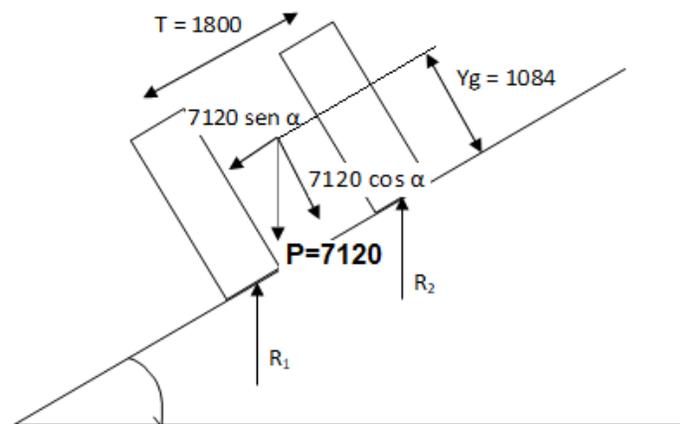


Figura 3.9 Sistema de fuerzas que actúan sobre el tractor sin haber sido modificado.

El ángulo límite de vuelco lateral del tractor se determina entonces por la siguiente ecuación como:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{T/2}{Y_g}$$

$$\beta_{\text{lim}} = \operatorname{arctg} \frac{T/2}{Y_g} \Rightarrow \operatorname{arctg} \frac{1800/2}{1084} \Rightarrow \frac{900}{1084} = 0.83$$

$$\beta_{\text{lim}} = 38^\circ$$

3.5.2 Caso del tractor modificado.

Siguiendo el procedimiento anteriormente descrito, en la Figura 3.10 se representa el sistema de fuerzas que actúan sobre el tractor en el plano transversal una vez modificado.

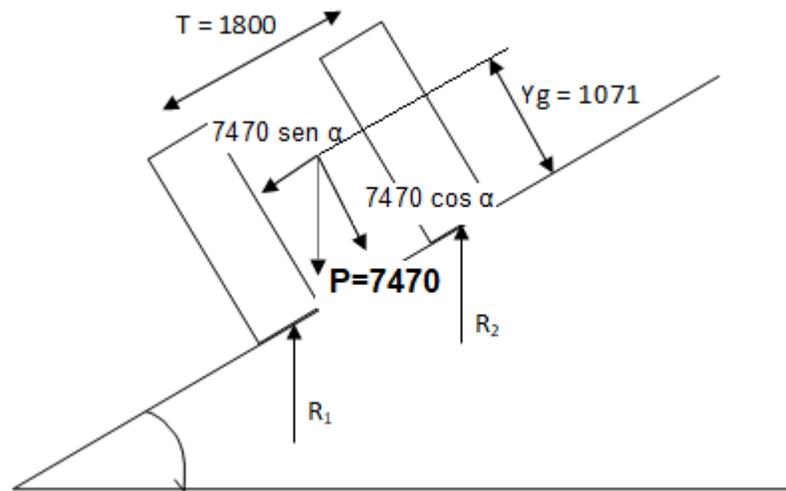


Figura 3.10 Sistema de fuerzas que actúan en el plano transversal del tractor una vez modificado.

Por tanto:

$$\beta_{\text{lim}} = \operatorname{arctg} \frac{T/2}{Y_g} \Rightarrow \operatorname{arctg} \frac{1800/2}{1071} \Rightarrow \frac{900}{1071} = 0.84$$

$$\beta_{\text{lim}} = 38^\circ 43'$$

De donde se deduce, que la probabilidad de vuelco lateral va a ser menor aun cuando no sea de manera significativa, cuando el tractor esté modificado.

Obviamente, ello estará influenciado por el incremento de peso que trae consigo la modificación, lo que hace que la altura de su centro de gravedad en este caso se ubique a una menor altura.

3.6. Caso del tractor tirando de carretas autobasculantes en el plano horizontal.

3.6.1 Caso del tractor sin modificar.

En correspondencia con lo planteado en la metodología 2.6.1, en la Figura 3.11 se representa el sistema de fuerzas y brazos que actúan sobre el tractor tirando de las carretas autobasculantes en un plano horizontal.

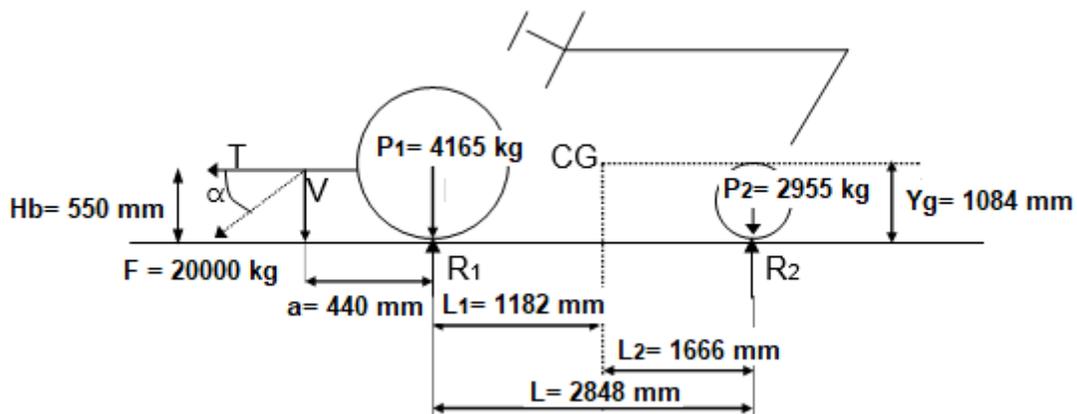


Figura 3.11 Sistema de fuerzas y brazos que actúan sobre el tractor sin modificar tirando de carretas autobasculantes en un plano horizontal.

En la figura:

Hb- Altura del enganche de acuerdo a los datos que se brindan en la tabla 1.8 anexo 1, del Manual de Operación y Mantenimiento del tractor de ruedas YTO 1604/1804. (550 mm).

a- distancia del centro de rueda trasera al punto de enganche de acuerdo a los datos que se brindan en la tabla 1.8 anexo 1, del Manual de Operación y Mantenimiento del tractor de ruedas YTO 1604/1804. (440 mm).

F- 20000 kg, considerando la capacidad de carga de dos remolques autobasculantes.

P_2 - Peso del tractor que recae sobre el puente delantero, de acuerdo con la distribución que aparece en el Manual de Operación y Mantenimiento del tractor de ruedas YTO 1604/1804. (2955 kg).

P_1 - Peso del tractor que recae sobre el puente trasero, de acuerdo con la distribución de pesos sobre los ejes del tractor que aparece en el Manual de Operación y Mantenimiento del tractor de ruedas YTO 1604/1804. (4165 kg)

L_1 - Distancia del centro del eje trasero al centro de gravedad del tractor en el plano horizontal. Anteriormente determinada. (1182 mm).

L_2 - Distancia del centro del eje delantero al centro de gravedad del tractor en el plano horizontal. Anteriormente determinada (1666 mm).

Y_g - Coordenada vertical del centro de gravedad anteriormente determinada. (1084 mm).

Como se explicó en la metodología, para obtener la componente horizontal (T) y vertical (V) de la fuerza de tiro (F) de acuerdo a la Figura 3.11, se tiene en cuenta el ángulo (α) de inclinación de la barra de tiro considerado 10° .

Por ello, (T) y (V) se determinan como:

$$T = F * \cos\alpha \qquad V = F * \operatorname{sen}\alpha$$

$$T = 20000 * \cos 10^\circ \qquad V = 20000 * \operatorname{sen} 10^\circ$$

De donde:

$$T = 20408 \text{ kg} \qquad V = 3400 \text{ kg}$$

La fuerza de adherencia de las ruedas delanteras al suelo se calcula entonces como:

$$P_{ad2} = P_2 - \frac{V * a}{L} - \frac{T * Hb}{L}$$

$$P_{ad2} = 2955 - \frac{3400 * 440}{2848} - \frac{20408 * 550}{2848}$$

$$P_{ad2} = 2955 - 525 - 3941$$

$$P_{ad2} = -151 \text{ kg}$$

Significa que sobre el puente delantero se pierde un peso adherente de 1511 kg. Sin embargo, si se comprueba que sobre el puente delantero debe recaer no menos del 15% del peso total del tractor para que el equipo no pierda maniobrabilidad como se explicó en la metodología correspondiente se obtiene:

$$\frac{7120}{1511} = \frac{100\%}{X}$$

De donde se deduce que:

$$X = 21\%$$

Por lo que se cumple la condición y el equipo puede perfectamente bien arrastrar los remolques sin perder maniobrabilidad.

La fuerza de adherencia de las ruedas traseras al suelo se calculó entonces como:

$$P_{ad1} = P_1 + \frac{V * (a + L)}{L} + \frac{T * Hb}{L}$$

$$P_{ad1} = 4165 + \frac{3400(440 + 2848)}{2848} + \frac{20408 * 550}{2848}$$

$$P_{ad1} = 12031 \text{ kg}$$

Lo que demuestra que sobre el eje trasero se incrementa el peso adherente, mejorando las características tractivas del equipo.

3.6.2. Caso del tractor modificado.

Siguiendo el mismo procedimiento anteriormente descrito, en la Figura 3.12 se representa el sistema de fuerzas y brazos que actúan sobre el tractor una vez modificado

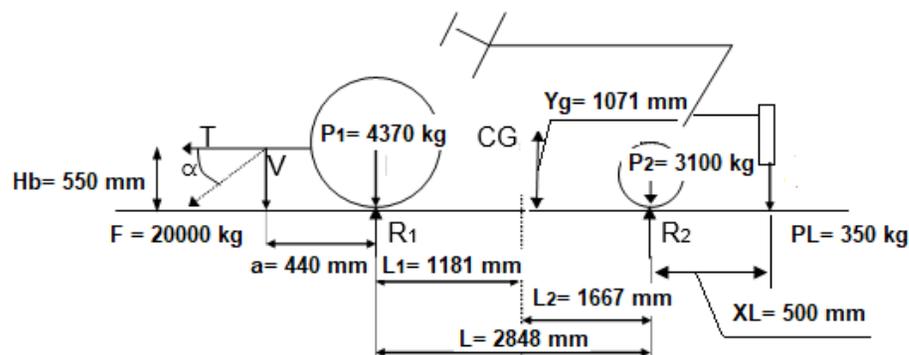


Figura 3.12 Sistema de fuerzas y brazos que actúan sobre el tractor modificado tirando de carretas autobasculantes en un plano horizontal.

En la figura:

Hb- Altura del enganche de acuerdo a los datos que se brindan en la tabla 1.8 anexo 1, del Manual de Operación y Mantenimiento del tractor de ruedas YTO 1604/1804. (550 mm).

a- distancia del centro de rueda trasera al punto de enganche de acuerdo a los datos que se brindan en la tabla 1.8 anexo 1, del Manual de Operación y Mantenimiento del tractor de ruedas YTO 1604/1804. (440 mm).

F- 20000 kg, considerando la capacidad de carga de dos remolques autobasculantes.

P₂- Peso del tractor que recae sobre el puente delantero, de acuerdo con la modificación. (3100 kg).

P₁- Peso del tractor que recae sobre el puente trasero, de acuerdo con la modificación. (4370 kg)

PL- Peso que presupone el lastre que ocasionan la pala frontal y sus accesorios. (350 kg)

XL- Distancia entre la recta de acción de PL y el centro del eje de la rueda delantera. (500 mm)

L₁- Distancia del centro del eje trasero al centro de gravedad del tractor en el plano horizontal. Anteriormente determinada. (1181 mm).

L₂- Distancia del centro del eje delantero al centro de gravedad del tractor en el plano horizontal. Anteriormente determinada (1667 mm).

Yg- Coordenada vertical del centro de gravedad anteriormente determinada. (1071 mm).

(T) y (V) se determinaron como en el caso anterior según las ecuaciones:

$$T = F * \cos\alpha$$

$$V = F * \sen\alpha$$

$$T = 20000 * \cos 10^\circ$$

$$V = 20000 * \sen 10^\circ$$

De donde:

$$T = 20408 \text{kg}$$

$$V = 3400 \text{kg}$$

La fuerza de adherencia de las ruedas traseras al suelo se calculó entonces como:

$$P_{ad1} = P_1 + \frac{V(a+L)}{L} + \frac{T * Hb}{L} - \frac{PL * xL}{L}$$

$$P_{ad1} = 4370 + \frac{3400(440 + 2848)}{2848} + \frac{20408 * 550}{2848} - \frac{350 * 500}{2848}$$

$$P_{ad1} = 12175 \text{ kg}$$

Significa que sobre el puente trasero se incrementó el peso adherente en 7805 kg al tirar de las dos carretas autobasculantes, mejorando las posibilidades tractivas del equipo.

$$P_{ad2} = P_2 + \frac{PL * (xL + L)}{L} - \frac{V * a}{L} - \frac{T * Hb}{L}$$

$$P_{ad2} = 3100 + \frac{350(500 + 2848)}{2848} - \frac{3400 * 440}{2848} - \frac{20408 * 550}{2848}$$

$$P_{ad2} = -955$$

Significa que sobre el puente delantero se pierde un peso adherente de 955 kg, inferior en 556 kg al que pierde sin modificar.

Al comprobar que sobre el puente delantero debe recaer no menos del 15% del peso total del tractor para que el equipo no pierda maniobrabilidad como se explicó en la metodología correspondiente se obtiene:

$$\frac{7470}{955} = \frac{100\%}{X}$$

De donde se deduce que:

$$X = 17\%$$

Por lo que se cumple la condición y el equipo puede arrastrar perfectamente los remolques aun estando modificado sin perder maniobrabilidad.

De lo expresado se deduce, que cuando el tractor está trabajando (arrastrando un autobasculante al menos), sobre el tren trasero aparece una carga que se suma a (P_1) y que en el tren delantero se resta a (P_2).

Es decir que el peso adherente aumenta en el tren trasero, respecto a las condiciones de vacío.

A modo de resumen se puede decir, que la forma directa de aumentar el peso sobre el puente trasero es incrementar el valor de (P_1), lo que generalmente se logra lastrando al tractor en las ruedas traseras. Esta operación se puede efectuar

llenando la cámara con agua (hidroinflado) y/o colocando lastres metálicos sobre las llantas. Este peso recae directamente sobre las ruedas.

La forma indirecta de conseguirlo es colocar la barra de tiro lo más alta y larga posible.

Para el caso específico del puente delantero, la forma directa de aumentarlo es colocar lastres metálicos a modo de valijines en una barra dispuesta a tal fin en el chasis del tractor que se encuentra por delante del eje delantero, o en éste caso a través de la modificación que implica colocar la pala de empuje frontal sobre el tractor, razón por la cual se produce un esfuerzo extra sobre el chasis.

Se deduce así que el (P_{ad_2}) aumenta con la colocación del lastre delantero (PL) que representa la pala, pero disminuye cuando aparecen (T y V). Si los términos de transferencia de peso (T y V) superan a los que contienen a (P_2 y PL), entonces el tractor tiende a volcar hacia atrás (encabritamiento).

3.7 Resultados del estudio para calcular la productividad del tractor convertido en pala de empuje frontal.

En correspondencia con lo planteado en la metodología 2.7, los resultados del estudio para determinar la productividad del tractor convertido en un equipo de empuje frontal indicaron lo siguiente.

3.7.1 Caso del tractor en trabajos de nivelación a 15° de inclinación de la pala.

Se consideran para el cálculo las siguientes condiciones de trabajo:

- El ancho efectivo de la pala será: $L_e = L * \cos 15^\circ \Rightarrow 2.6 * 0.97 = 2.52m$
- El ancho de traslape (L_o) según recomendaciones se toma igual a 200 cm $\Rightarrow 0.2$ m, según recomendaciones que aparecen en la metodología 2.7.
- El número de pasadas necesarias para realizar el trabajo se toma igual (6), según recomendaciones que aparecen en la tabla 2.2 de la propia metodología 2.7.
- Distancia de trabajo recorrida por el equipo: $d = 100$ m;
- Velocidad de avance ($V_a = 5$ km/h) $\Rightarrow (80$ m/min);
- Velocidad de retroceso ($V_r = 3$ km/h) $\Rightarrow (48$ m/min).

- $t_f =$ tiempo fijo [$t_f = 0$ a 1 minuto]

Por tanto:

$$T = \frac{d}{V_a} + \frac{d}{V_r} + T_f = \frac{100}{80} + \frac{100}{48} + 1 \Rightarrow 1.2 + 2 + 1 = 4.2$$

Entonces, la productividad en (m^2/h) del equipo se calcula como:

$$Q_{AT} = \frac{60 * d * (L_e - L_o)}{N * T}; \quad \left(\frac{m^2}{h} \right)$$

$$Q_{AT} = \frac{60 * 100 * (2.52 - 0.2)}{6 * 4.2} \Rightarrow \frac{13920}{25} = 556 \left(\frac{m^2}{h} \right)$$

$$Q_{AT} = 556 \left(\frac{m^2}{h} \right)$$

Significa que el equipo trabajando con una inclinación de 15° en su pala frontal, podrá nivelar $556 m^2$ de terreno en 1h.

3.7.2 Caso del tractor en trabajos de reparación de caminos a 15° de inclinación de la pala.

En este caso:

- La velocidad de avance (V_a) se toma igual a 3 km/h que representan 48 m/min según recomendaciones;
- La velocidad de retroceso (V_r) se toma igual a 2 km/h que representan 32 m/min según recomendaciones.

Por tanto:

$$T = \frac{d}{V_a} + \frac{d}{V_r} + T_f = \frac{100}{48} + \frac{100}{32} + 1 \Rightarrow 2 + 3 + 1 = 6$$

De dónde:

$$Q_{AT} = \frac{60 * 100 * (2.52 - 0.2)}{6 * 6} \Rightarrow \frac{13920}{36} = 386 \left(\frac{m^2}{h} \right)$$

$$Q_{AT} = 386 \left(\frac{m^2}{h} \right)$$

Es decir, que en una hora de trabajo y con una inclinación de la pala de 15° , el equipo podrá esparcir $386 m^2$ de material para el arreglo de caminos.

3.7.3 Caso del tractor en trabajos de nivelación a 50° de inclinación de la pala.

Siguiendo el procedimiento anteriormente descrito, (L_e) se determina como:

$$L_e = L * \cos 50^\circ \Rightarrow 2.6 * 0.64 = 1.6m$$

Por tanto :

$$Q_{AT} = \frac{60 * d * (L_e - L_o)}{N * T}; \left(\frac{m^2}{h} \right)$$

$$Q_{AT} = \frac{60 * 100 * (1.6 - 0.2)}{6 * 4.2} \Rightarrow \frac{8400}{25} = 336 \left(\frac{m^2}{h} \right)$$

$$Q_{AT} = 336 \left(\frac{m^2}{h} \right)$$

Significa, que en una hora de trabajo el equipo puede nivelar 336 m² de terreno con su pala inclinada 50°.

3.7.4 Caso del tractor en trabajos de reparación de caminos a 50° de inclinación de la pala.

En este caso:

$$Q_{AT} = \frac{60 * d * (L_e - L_o)}{N * T}; \left(\frac{m^2}{h} \right)$$

$$Q_{AT} = \frac{60 * 100 * (1.6 - 0.2)}{6 * 6} = 233 \left(\frac{m^2}{h} \right)$$

$$Q_{AT} = 233 \left(\frac{m^2}{h} \right)$$

Significa que en una hora de trabajo del equipo con su pala inclinada 50°, podrá esparcir 233 m² de material rocoso para el arreglo de caminos y terraplenes cañeros.

En resumen, la productividad del equipo tanto en labores de nivelación de terrenos como de reparación de caminos es mayor mientras menor sea el ángulo de inclinación de su pala de trabajo en el rango recomendado de 15° a 50°.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. Las posibilidades energéticas del tractor YTO-1604 y su sistema de transmisión, satisfacen las exigencias planteadas para la construcción de equipos destinados a la nivelación de terrenos y arreglo de caminos.
2. La estabilidad longitudinal y transversal del tractor mejoran con la modificación.
3. Las características tractivas del tractor modificado satisfacen la condición de que sobre el puente delantero no debe recaer menos del 15% del peso total del equipo para que no pierda maniobrabilidad.
4. El cálculo teórico de la productividad del tractor una vez modificado, demostró ser mayor cuando se trabaja con una inclinación de la pala de 15° tanto en labores de nivelación como de arreglo de caminos.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. Poner en manos del Grupo Azucarero AZCUBA en la provincia de Cienfuegos los resultados del estudio, para que acometan la modificación del tractor YTO-1604 amparados por los cálculos correspondientes de factibilidad.

Referencias
Bibliográficas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANÓNIMO.: "Resolución 162-07 del Ministerio del Transporte. Vías de Interés Nacional. Gaceta Oficial de la República de Cuba, 31 de agosto de 2007.": 2007.
- : *La red de viales en Cuba. Wikipedia, la enciclopedia libre.* pp. 2018a.
- . *YTO -1604/1804 Tractor de Ruedas. Manual de Operación y Mantenimiento., Ed.,* 2018b.
- AYLLON, J. M.: *Maquinaria y Equipo de Contrucción, Ed.,* 2017.
- BOTTA, D. J.: *Los Tractores Agrícolas, Ed.* Universidad Nacional de Luján, 2000.
- CARERI, S.: *Física para estudiantes de Ciencias Agrarias, Ed.* Universidad de Lomas de Zamora. Facultad de Ciencias Agrarias., 2011.
- FERNÁNDEZ, M.; L. SHKILIOVA.: *Talleres y Asistencia Técnica, Ed.* IIMA, La Habana, Cuba, , 2011.
- GARCÍA, P.: *Delegación Provincial del MINAZ, Villa Clara, Subdelegado de mecanización del MINAZ. [en línea], vol. no.*
- GÓMEZ, R.: " Reunión con el departamento de Mecanización Agrícola de la UCLV, en su condición de viceministro de la agricultura, Sala XXXV Aniversario de la UCLV," 2000a.
- GÓMEZ, R.: *Reunión con el departamento de Mecanización Agrícola de la UCLV, en su condición de viceministro de la agricultura, Sala XXXV Aniversario de la UCLV., Ed.,* 2000b.
- GONZÁLEZ, R.: *Carreteras y puentes de la red de viales en Cuba, [en línea] Disponible en: <http://Revista-obras.Unión-de-Arquitectos-e-Ingenieros-de-la-Construcción-de-Cuba>. [Consulta].2018*
- H.; F.; C. FERRARI. *Grupo Mecanización Agrícola, Ed.* INTA EEA. C. del Uruguay, 2017.
- HERNÁN, J.: "Características energéticas de las máquinas motoniveladoras": 2011.
- KLEIN, A.: *Mecánica de los cuerpos rígidos., Ed.* El Ateneo, 1963.
- MINGOT, M.: *El tractor agrícola. Utilización y costos de trabajo, Ed.* Agrícola Española S.A., 1974.
- ORTIZ-CAÑAVATE, J.; J. L. HERNANZ. *Técnica de la mecanización agraria, Ed.* Mundi-Prensa, 1989.
- PARKER, H.: *Texto simplificado de Estática y Resistencia de Materiales, Ed.* Paramount, 1975.
- RÍOS, A.: *La agricultura en Cuba, Ed.* La Habana, Cuba, 2013.
- SHUDAKOV, D.: *Fundamentos de la teoría y cálculo de tractores y automóviles, Ed.* Mir. Moscú, 1978.
- TIMOSHENKO, S.: *Young, D. Mecánica Técnica, Ed.* Librería Hachette S., 1957.

ANEXOS

TABLA 1.6 Características técnicas del tractor de la serie YTO 1604.

Modelo	YTO-1604
Tipo	Cuatro ruedas
Potencia del eje de salida de fuerza (kW)	106±5.3
Tracción nominal (kN)	37
Dimensión (mm)	5390
L (incluyendo contrapeso delantero y suspensión)	2696
W (la distancia entre ruedas hasta el borde exterior del semi-eje antes de la entrega)	
H (hasta el techo de la cabina)	3450
Distancia entre ejes (mm)	2848
Distancia entre ruedas (mm)	
Delantera (distancia entre ruedas de fábrica)	1680-2176(1880)
Trasera (distancia entre ruedas de fábrica)	1620-2200(1800)
Distancia al suelo (inferior de la cáscara de la palanca de codo) (mm)	459
Contrapeso delantero (kg)	720
Contrapeso trasero (kg)	
Min.peso utilizado (kg) (con cabina, soporte de contrapeso)	7115
Distribución de pesos (kg)	
Delantera	2955
Trasera	4165
Radio de giro (m)	
Frenado lateral	5.0±0.2
Sin frenado lateral	6.2±0.2
Número de marchas	Estándar Con el dispositivo

			retrógrado	
			12F+4R	16F+16R
Velocidad	Baja	I	3.94	3.94/2.81
teórica		II	12.75	12.75/9.1
(km/h)		III	30.69	30.39/21.71

TABLA 1.7 Especificaciones técnicas principales del sistema de transmisión del tractor de la serie YTO-1604

Modelo		
		YTO-1604
Embrague		Tipo seco, solo disco, funcionamiento independiente, efecto simple; el embrague principal es operado por el pedal aerodinámico. El embrague secundario es de tipo húmedo, discos múltiples y operados hidráulicamente eléctricos.
Caja de transmisión		Tipo 4x(3+1) combinado; 12 marchas adelante, 4 marchas atrás; cambio de marchas del buje de engranar de cambio principal y cambio secundario; opcional el sincronizador; opcional 16 + 16;
Transmisión central		Par de engranajes cónicos espirales
Diferencial		Abierto, 4 engranajes cónicos rectos de planeta
Bloqueo del diferencial		Húmedo, discos múltiples, controlado hidráulicamente eléctrica
Modelo		YTO-1604
Transmisión final		Tipo de engranaje planetario de simple nivel
Eje de tracción delantera		Central colocado integrado
Transmisión delantera	central	Par de engranajes cónicos espirales
Diferencial delantero		Cerrado, 4 engranajes cónicos rectos de planeta
Transmisión delantera	final	Tipo de engranaje planetario de simple nivel
Caja de transferencia		Engranaje recto con mecanismo de separación y combinación, opcional la instalación de varias piezas de embragues.

TABLA 1.8 Especificaciones técnicas principales del dispositivo de trabajo.

	Parámetro	YTO-1604	YTO-1804	
Sistema hidráulico	Tipo	Abierto, media dividida		
	Forma de control de profundidad de labranza	Control de posición, control de fuerza, control integral de posición y fuerza y control flotante		
	Tipo de bombas de aceite	Bombas de elevación	CBT-F430-AFXR	CBT-F430-AFXR
		Bomba de control de baja presión	CBT-F410-AFXL	CBT-F410-AFXL
	Diámetro por carrera (mm)	Cilindro principal de elevador 125x162 y dos cilindros auxiliares 75x162; al seleccionar el elevador de enterrado forzado, dos cilindros 110x175		
	Presión de ajuste de la válvula de seguridad del sistema (MPa)	21 ± 0.5		
	La presión de apertura de la válvula de seguridad del cilindro (MPa)	19 ± 0.5		
	Máxima fuerza de elevación (KN) (610 mm detrás del punto de suspensión)	≥ 36		
	Máxima fuerza de elevación en el punto de suspensión)	57		
	Mecanismo de suspensión	Montaje trasero tipo III, opcional de instalación de dispositivo de acoplamiento rápido		
	Dispositivo de salida hidráulica	Válvulas de multivía (2 y 3 de las PC son opcionales) Simple/Doble efecto		
	Tipo y cantidad de adaptador rápida	Doble lado tipo sellado (1-3) ZGI/2in		
	Flujo de salida (l/min)	70		
Tipo del eje de salida de potencia	Montaje trasero, independiente			
Velocidad (rpm)	1000/540			
Diámetro del eje (mm)	φ35, eje spline de 6 dientes rectángulo φ, eje spline de 8 dientes rectángulo φ 45, eje spline de 20 dientes de evolvente			
Distancia al suelo (mm) y sentido de giro	784, hacia la derecha (vista desde la parte trasera)	822, hacia la derecha (vista desde la parte trasera)		
Velocidad sincrónica	Ninguna			
Tipo del dispositivo de tracción	Palanca de tracción basculante y la posición del tenedor de tracción y de la palanca basculante se pueden ajustar			

Diámetro del pasador de tracción (mm)		φ 32
Posición del pasador de tracción (Distancia al suelo) (mm)	440, 550	475, 585
Posición ajustable del gancho (mm)	6 posiciones, la altura se puede ajustar	
Diámetro del pasador del gancho (mm)		φ 43
Mínima distancia al suelo (mm)	459 (debajo de la cáscara de la barra curva)	495 (debajo de la cáscara de la barra curva)