



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOVIS INPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Departamento de Mecanización de la Producción Agropecuaria

Trabajo de Diploma

Título: Remodelación del puente de rodaje del remolque autobasculante para el tiro de caña en condiciones de elevada humedad del suelo

Autor: *Jose Angel Delgado Hernández.*

Tutor: *Msc. Omar González Cueto.*

2003 - 2004



Me gustaría dejar constancia de agradecimientos a:

.... Trabajadores y dirigentes del taller del MINAZ alzadora por el apoyo prestado en el trabajo de remodelación del remolque. Muy en especial al soldador Antonio y el dibujante Loú por su colaboración en el trabajo de remodelación.

....Mi tutor Msc. Omar González Cueto y demás consultantes.

....A todos los diplomantes que durante todos estos años han trabajado apoyando estos trabajos de investigación con gran dedicación y responsabilidad.

....A mis padres por haberme apoyado en todo durante estos años de estudio.

.... Y más que a nada le agradezco a esta revolución y a nuestro comandante Fidel Castro haberme permitido realizar esta carrera.

.... A Esteban Sánchez Morales por su ayuda en la impresión de este importante trabajo.

Muchas gracias

José Ángel Delgado Hernández.

RESUMEN.

Las tecnologías actuales, utilizadas para el transporte cañero ,no son capaces de trasladar el material cosechado en condiciones de suelo con alta humedad, utilizan neumáticos en su sistema de rodajes y ejercen grande presiones sobre el mismo. El presente trabajo aborda un conjunto de estudios ,evaluaciones y experimentos con el semirremolque autobasculante remodelado para determinar si este puede trabajar en condiciones de elevada humedad utilizando en su puente de rodajes ,neumáticos de dimensión 21.3 R24.La utilización de neumáticos de alta flotación en su puente de rodajes permite el transporte de la caña de azúcar en suelos con elevada humedad y malas características de drenaje, pretende disminuir la compactación y todos los efectos negativos sobre el suelo, incrementar la productividad del transporte, y toma en cuenta el factor transferencia de peso al tractor para mejorar las características traccionales del tractor .

INTRODUCCIÓN :

Cuba dedica al cultivo de la caña de azúcar un área aproximada de 819 723 ha, de las cuales un 37 % (303 297 ha) se encuentran en zonas donde predominan los vertisoles. Estos se distribuyen por todo el país, sobre todo en las llanuras de la costa norte y sur de las provincias de Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey, Holguín y Las Tunas .

En la mayoría de los complejos agroindustriales el traslado de la caña de azúcar se realiza en dos ciclos, uno externo en el cual se mueve el material cosechado desde el extremo del campo hasta el centro de recepción y el trayecto se efectúa por caminos firmes y otro interno en el que se transporta la caña desde el lugar donde termina de cargarse el remolque, junto a la combinada, hasta el extremo del campo. El efecto negativo de las lluvias incide fundamentalmente en el ciclo interno impidiendo el transporte del material cosechado en condiciones de elevada humedad. Cuando el suelo se humedece pierde parte de su resistencia mecánica y por tanto su capacidad de soportar los esfuerzos normales y tangenciales que produce el sistema de rodajes de los equipos que transitan sobre el. Esto significa que donde existe alto nivel de mecanización de las labores agrícolas, habrá afectaciones por la capacidad de los equipos de trabajar en estas condiciones.

Iglesias y col (1984) plantea que la totalidad de las máquinas cosechadoras cañeras y los medios de transporte utilizados en Cuba tienen neumáticos en su sistema de rodajes, pesan entre 10-18 t, sus presiones específicas medias sobre el

suelo son muy altas entre (200 hasta más de 400 kPa), lo que impide su desempeño en condiciones de alta humedad .

Rodríguez (1999) estudió el comportamiento de las lluvias durante las zafras azucareras desde 1976 hasta 1990. Determinó que en ese período, el 60 % de las zafras desarrolladas en los centrales de la costa norte de Villa Clara, donde existen vertisuelos, se realizan en condiciones de elevada humedad. La interrupción y el alargamiento de la zafra provoca un incremento del costo de la tonelada de azúcar en un 15 % y que solo por concepto de disminución del rendimiento industrial durante los años húmedos se podía perder en un año 36.4 millones de dólares. Consideró además que si el total de lluvias durante el período de zafra era superior a 215 mm se consideraba como zafra húmeda y las principales afectaciones que muestra en este período son.

- La extensión de la zafra hasta cerca del 40% del tiempo programado ya que las máquinas no pueden entrar al campo y se paraliza esta actividad .
- Incumplimiento de los planes de producción de azúcar al quedar en los campos grandes volúmenes de caña previstos para moler en esa zafra.
- La extensión y terminación de la zafra en los meses de mayo y junio , por problemas de humedad , obliga a moler en la zafra siguiente retoños con menor edad por lo que su calidad de caña molible se reduce.

- La inmensa mayoría de las veces la caña que se queda por cosechar en los campos es inapropiada para dejarla como cepa quedada, lo que provoca mayores pérdidas en azúcar.
- La caída del rendimiento industrial, como en un 9% por moler caña fuera de período de máxima madurez equivale a procesar más caña para producir la misma cantidad de azúcar en una zafra .
- Incremento del nivel de gasto y costo de la producción azucarera en un 15 % como promedio con respecto a los años secos.

Estas dificultades no son exclusivas de Cuba ,se reportan problemas similares e investigaciones realizadas para aliviar esta situación en Australia, manifiesta que las zafras de 1973 y 1975 se vieron seriamente afectadas por las lluvias. En 1970 en Tully se dejó de cosechar más de 750 000 @ de caña. Además se conoce de trabajos realizados en el mejoramiento y adaptación de sus sistemas de máquinas a las condiciones que le ofrece el clima. Utilizan equipos con neumáticos de alta flotación y que tienen posibilidades de auto descargar el material cosechado en otras unidades de tiro (trenes ó equipos más veloces y con mayores capacidades de carga).

Colombia, afirma que en el Valle del Río Cauca es una de las regiones donde se realiza el cultivo de la caña, a causa de las lluvias se hace necesario la utilización de equipos sobre esteras para evitar la compactación, para el transporte se utilizan vagones autodescargables tirados por tractores de 140 HP (tracto mulas) articulados y de doble tracción estos

descargan la caña en la orilla del campo en camiones de gran capacidad de carga.

Humbert y Olea (1993) describen las áreas utilizadas en Lousiana para el cultivo de la caña de azúcar en la extensa área del delta del Mississippi. Sus terrenos son drenados artificialmente y se cosecha la caña en una época de continuos frentes fríos, que provocan que la cosecha en alta humedad sea un problema permanente.

Actualmente se trabaja para obtener el sistema de máquinas cubano que permita dar la solución de esa problemática, se propone en esas zonas, utilizar medios de transporte con estereras, semiestereras ó neumáticos de alta flotación, y modificar el esquema tecnológico actual, incluyendo el transporte intermedio que nos se utiliza. Este trabajo es parte de las investigaciones que se le realizan a las tecnologías utilizadas para cosechar la caña de azúcar y propone la solución del transporte con la utilización de un equipo auto basculante para el ciclo interno, el cual trasborda la caña cosechada hacia las unidades de tiro, que por caminos firmes la trasladan al central o al centro de beneficio.

El desarrollo y la extensión de esta tecnología a la rama de la producción azucarera aumenta las posibilidades de realizar la zafra aunque las condiciones del suelo no sean las adecuadas. Según análisis realizados en trabajos anteriores con medios de transporte semejantes, González (1992) demostró que su utilización disminuye los gastos directos de explotación.

- Ocurren menor cantidad de roturas de los medios de transporte, ya que estos no penetran en el campo,

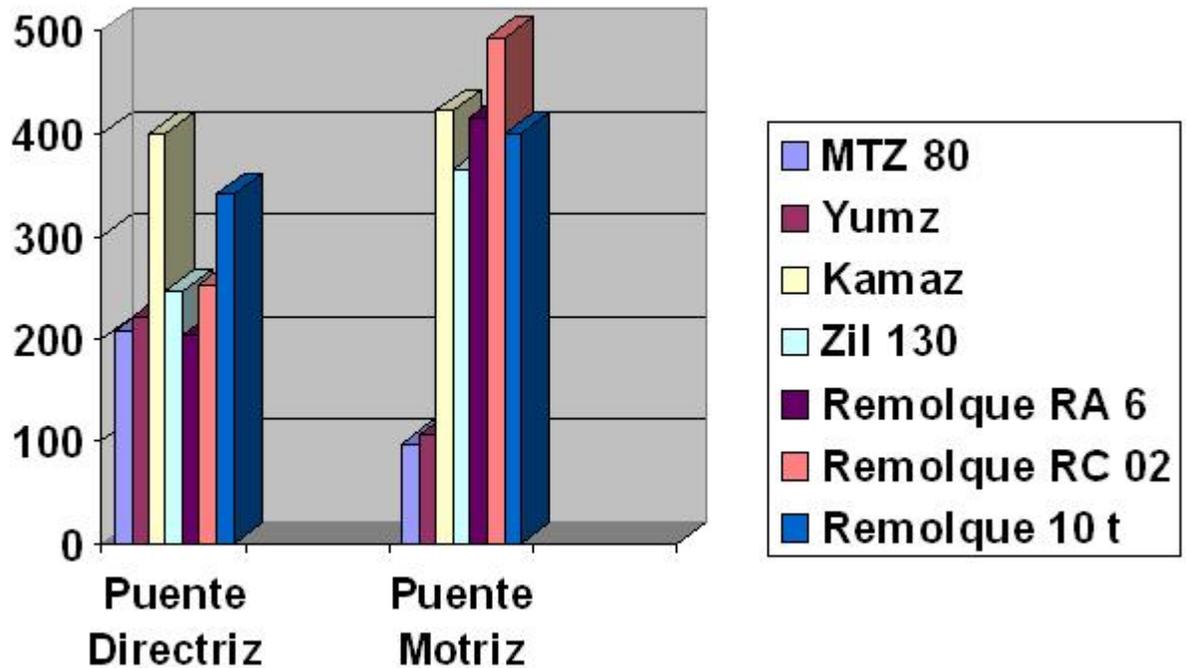
solo trasladan el material cosechado por caminos firmes al Central o Centro de beneficio .(Hay menor consumo de piezas de repuesto)

- Se utiliza menor cantidad de máquinas y ocurren menos atascamientos de los medios de transporte pues son más ligeros, y utilizan en su tren de rodajes neumáticos de alta flotación.

- No hay necesidad de enganchadores, las unidades de tiro son cargadas sin separar los remolques del camión .

El presente trabajo se realiza a solicitud del Vice Ministerio de Mecanización del MINAZ y como parte de los que se vienen realizando para resolver las afectaciones a la cosecha y el transporte en alta humedad. En estudios anteriores de este grupo de investigación, se realizaron pruebas de tracción a los remolques RA 6, remolque Toft y remolque RC 10, los cuales dieron resultados negativos, debido a su alta resistencia a la tracción, con valores mayores de 11 kN, ocasionado por su alta presión específica sobre el suelo, (Ver gráfico 1, presiones específicas de algunos de los medios utilizados para el transporte de la caña en Cuba). Buscando disminuir este valor se le cambia el sistema de rodaje del remolque Toft (neumáticos 14x20) y se le realiza una adaptación al eje para que pueda sostener los neumáticos 21.3x24, de alta flotación y que deben demandar menor capacidad de tracción. Esta prueba de resistencia a la tracción del remolque en suelos húmedos, así como su evaluación tecnológica explotativa no forman parte de este trabajo y se acometerán durante la próxima zafra.

Gráfico No.1 Presiones específicas sobre el suelo (kPa) de los equipos de transporte empleados en Cuba.



Objetivos de este trabajo .

1-Realizar la modificación del semirremolque autobasculante desarrollando las siguientes tareas .

- seleccionar el ancho de vía del remolque.
- obtener la transferencia de peso del semirremolque al tractor.
- Comprobar por el método de elemento finito la resistencia del eje remodelado.

2-Evaluar el efecto sobre el suelo del semirremolque modificado.

Capítulo:1

Situación actual de los conocimientos sobre la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en condiciones de alta humedad y el tránsito sobre suelos blandos.

1.1)-Situación internacional de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en suelos con mal drenaje sobre humedecidos.

La necesidad de realizar la zafra en condiciones de suelo húmedo se ha impuesto en el mundo, a partir de las graves afectaciones económicas que se producen por la interrupción de la cosecha en los períodos lluviosos. Países como Australia , Estados Unidos de América (EUA) ,Cuba ,Brasil y Sudáfrica ,tienen sus propios sistemas de cosecha y transporte , desarrollan ó construyen total ó parcialmente la maquinaria que utilizan. Aunque en estos momentos países como :Argentina , Colombia ,México ,Puerto Rico ,Perú y otros del sudeste de Asia y el Pacífico, dan grandes pasos en aras de elevar la mecanización de esta actividad e introducen maquinaria y tecnología del primer grupo de países, Ridge (1986)

Rodríguez (1999) describe el sistema de máquinas utilizados para la cosecha de caña en Australia , donde cerca del 75% de las áreas sembradas se cosechan con edades de 12 a 13 meses y con rendimientos agrícolas promedios de 98 t/ ha, las variedades son todas de crecimiento erecto y fácil despaje, antes de cosechar se realizaba la quema de los campos, pero en los últimos años se ha extendido hasta un 65% la cosecha en verde por las ventajas ecológicas que esta proporciona y entregan la caña al central entre 12 y 16 horas después de cortada. El 100% de la cosecha está mecanizada, para esto poseen 1200 cosechadoras integrales que promedian 44-55 t/ ha, en caña

verde y más de 60 t/ ha en caña quemada, cosechan el 65% de la caña en verde. Los medios y sistemas de transporte para la cosecha de caña de azúcar son muy variados, las cuales se pueden tratar de resumir de la siguiente forma:

El sistema con TRASBORDO o TRANSPORTE INTERMEDIO para sacar la caña del campo y depositarla en medios de transporte que llevan la caña al central. Como transporte intermedio utilizan gran variedad de remolques de 4 a 6 t tirado por tractores y autopropulsados de alta flotación y orugas con capacidad de carga entre 8 y 12 t, los recorridos con este transporte son menores a los 5 km ; sus tolvas o cajas son auto volcables .de descarga lateral a alturas entre 3,5 y 4,5 m. El 95% de la caña va al central en los vagones de ferrocarril desde líneas próximas al frente de corte y el resto en transporte automotor con capacidad de carga hasta de 40 t.

- El sistema ROLL ON – ROLL OFF la caña se lleva al central en vagones de ferrocarril, en el campo cada vagón se puede montar o bajar en una especie de rastra o cuña con ayuda de cables, winche y rampas auxiliares, una vez llenos se montan nuevamente en la línea y se forma el tren.

- El sistema FREIGHTFER-LIFT, basado en el uso de contenedores que se cargan dentro del campo sobre plataformas autopropulsadas o remolcadas por tractores y en el borde del campo o zonas próximas a este se montan en planchas de ferrocarril o automotores que son los que llevan la caña al central, en este se voltean el contenedor o se descarga por uno de sus lados, retornando al campo por la misma vía. Ridege (1986), Silveira(1980), Olea 1995), Australia.

Desde la década del 1970 a 1980 comenzó en Australia el desarrollo de equipamiento para el trabajo en condiciones de suelo húmedo. En 1976 la Estación Experimental de la caña de azúcar (BSES) estableció una Estación Experimental en Tully (total de lluvia anual de 4295 mm) para investigar problemas asociados con altas precipitaciones anuales. En 1973 y 1975 la zafra fue severamente interrumpida por el clima húmedo. Parte de los ingenieros agrícolas establecidos en la Estación se dedicaron a investigar y desarrollar equipamiento para el transporte de caña que operaría satisfactoriamente en condiciones húmedas sin afectar adversamente la cosecha (Fuelling 1985).

Brennan y Col (1997) al analizar el proceso hacia el incremento del tamaño de los grupos de cosecha en Australia plantea que uno de los impedimentos para el crecimiento de estos es que los granjeros prefieren operar en pequeños grupos, particularmente en las áreas que sufren frecuentes interrupciones a la cosecha debido a las condiciones de alta humedad. Plantea además las medidas disponibles para evitar la detención de la zafra, como son la cosecha en verde y el uso de equipamiento de cosecha y transporte que tiene capacidad para trabajar en condiciones húmedas.

Otoya Dussan (1995) hace referencia a la historia de la cosecha, alce y tiro de caña en el Ingenio Manuelita. SA en Colombia, donde dada su ubicación geográfica y clima permite el cultivo y cosecha durante todo el año, con dos períodos de lluvia.

Torres (1990). manifiesta que la plantación y cosecha de la caña de azúcar en el valle del Cauca en Colombia es una operación continua. Hay dos estaciones húmedas por año. La primera desde mediados de marzo hasta finales de mayo y la segunda es de noviembre a diciembre.

Olea (1993) hace referencia al equipamiento utilizado en la Florida para el trabajo en suelos húmedos. En la florida muchas de las maquinas que cosechan la caña son fabricadas por la firma VANGUARD con la patente de CLAAS, estas manipulan entre 35 y 120 T/h ,se fabrican con orugas con cadenas de goma y/o metal desarrolladas por la firma CATERPILLAR , así reducen los daños al suelo y aumentan la capacidad de paso de las máquina .El transporte también es muy semejante al de Luisiana ,señala a modo de ejemplo que tres cosechadoras integrales CAMECO CHT 2500 ,montadas sobre orugas , cinco carros auto descargables y un número indeterminado de semirremolques de tiro de 35 t o tracto trenes (también tracto mulas) ,trabajando 9 horas diarias manipulan sin dificultad 1000 t de caña.

Otoya (1995) se refiere a la utilización en el Ingenio Manuelita Colombia de cosechadoras integrales Austof 7700, con estera, operando en condiciones de suelo húmedo y la utilización de vagones autodescargables , tanto para el transporte de la caña cortada por cosechadoras como la del corte manual.

Torres (1990) (1993) describe los sistemas de transporte utilizados en Colombia refiriéndose a remolques auto volcables.

Rodríguez (1999) probó las cosechadoras cubanas y un prototipo, la CCA-3, dando está última presentó resultados aceptables durante su utilización con semi esterass. Probó además las combinadas Claas 2000 y Toft 6000, dando los mejores resultados la Calas 2000. Con respecto al transporte se han evaluado todos los tractores utilizados por el MINAZ y sus remolques, dando resultados satisfactorios solo el FIAT New Holland 110 90, González (2002). Como sistema de transporte con carros auto volcables se desarrolló una prueba a escala de UBPC en el CAI René Fraga Moreno, desarrollada por el INICA, con

resultados negativos debido a la magnitud de la prueba, a que se realizó en condiciones de producción donde los operadores estaban vinculados salarialmente al proceso y a la resistencia al cambio que se origina siempre que alguna técnica nueva se aplica.

Fuelling (1985) plantea los principales características que deben tener los equipos de transporte intermedio. El punto de enganche del tractor debe estar diseñado para soportar en el eje trasero la mayor cantidad de peso proveniente del semirremolque. El punto de aplicación de esta fuerza debe estar situado delante del eje trasero, aplicando una presión positiva sobre el eje delantero y cargándolo también para mejorar su capacidad de tracción. Neumáticos 30.5 x 32 deben ser considerados para los remolques. Estos neumáticos utilizan totalmente el espacio entre surco y tienen un gran diámetro, consistente con la movilidad en el suelo húmedo.

Mc Guire (2002) describe la introducción de remolques con esteras de goma en la "Central Tweed Harvesting Cooperative" durante la zafra de 1996 y luego de otros tres remolques durante la zafra 1997. Dando como resultado un mejor trabajo que todos los equipos de ruedas, porque dañan menos la cepa y el suelo, durante la cosecha húmeda, tienen más estabilidad que los remolques de rueda y ejercen 42 kPa de presión sobre el suelo, mucho menor de los 160 kPa que ejercen los equipos de ruedas.

Estas son las principales características de los remolques, los que se han extendido y hoy día representan la mayoría de los medios para el transporte intermedio, tanto para condiciones húmedas como seca.

Amplias son las referencias sobre los tractores usados en Australia Dick (1987) Mc Guire (2002), Robotham (1998), donde tienen tracción

4 x 4, clase traccional 30 KN, reciben transferencia de peso y neumáticos de baja presión.

Por su parte Otoyá (1995) plantea que para mejorar la eficiencia en el Ingenio Manuelita S.A se introdujeron vagones autodescargables de accionamiento hidráulico, halados por tractores de 140 HP, articulados y de doble tracción, alta flotación y alta velocidad. Torres (1993) manifiesta una situación similar para toda el área cañera del Valle de Cauca en Colombia.

Sin embargo el equipamiento utilizado en Cuba tiene características completamente distintas. Rodríguez y González (1992), González (1998) describen la realización de ensayos de tracción a los tractores tradicionales utilizados para el tiro de caña, en condiciones de elevada humedad y manifiestan que ninguno de estos es capaz de trabajar en vertisuelos con más de 45 % de humedad.

González (2002) evalúa la capacidad de tracción del tractor MTZ 80 con doble neumático motor y con neumático de alta flotación 20.8 x 38, dando también resultados negativos. Sin embargo en ese propio artículo refiere que al evaluar el

tractor Fiat New Holland 110 90, en condiciones de 420 kPa y 62 % de humedad este sí pudo tirar de los remolques, apreciando aquí las características similares de este tractor a las referidas por la literatura como los más adecuados.

González (2003) evaluó los tractores T-150 K y Zetor Cristal 12045 teniendo resultados negativos en cuanto a la realización del tiro, debido a las extremas condiciones del suelo, concluyendo en ese trabajo que a 76 % de humedad y 180 kPa de índice de cono es imposible la realización de la cosecha húmeda, con remolque de 11 kN de resistencia a la tracción. En este mismo trabajo analiza las

características de los remolques cubanos, manifestando que tienen presiones específicas muy altas , aproximadamente 400 kPa, neumáticos inapropiados, baja capacidad de carga y no transferencia de peso al tractor.

Desde el punto de vista económico la transportación de la caña con equipamiento autovolcable de alta flotación es ventajosa. Otoya (1995)

Por otra parte González (1998) comparó los costos de un modelo formado por un pelotón de cosecha mecanizada con transporte auto volcables y un pelotón tradicional, obteniendo que el primero tenía 13.7 % menos gastos directos de explotación a causa de la disminución del número de equipos y operadores.

1. 2 Efectos de la compactación sobre los suelos en la agricultura cañera y no cañera.

Uno de los aspectos más importantes a la hora de considerar el equipamiento de alta flotación y los beneficios que aporta es el efecto negativo sobre el suelo que provoca todo el paso de la maquinaria. Dick (1987) considera que la densidad aparente, la permeabilidad del aire, la distribución del espacio poroso y las características de drenaje son adversamente afectadas con presiones sobre el suelo superiores a 200 kPa.

Braunack (1993) reporta los trabajos desarrollados en BSES para evaluar el efecto de la compactación del suelo en el crecimiento de las plantas y el rendimiento bajo condiciones de laboratorio, para reducir la variabilidad asociada. Encontrando que la compactación está determinada por el incremento de la densidad aparente, debido a la

carga aplicada y al contenido de humedad del suelo. La compactación en cualquier nivel de carga aplicada depende de la textura del suelo, con textura de grano fino (arcillas) la compactación es mayor que con textura de grano grueso. Densidades aparentes de 1.5 a 1.7 Mg/cm³ fueron perjudiciales para el crecimiento de las raíces en suelos arenosos, en suelos volcánicos densidades de 1.08 Mg/cm³ ya limitaban el crecimiento de la raíz.

Braunack y Col (1993) realiza estudios para evaluar la compactación, en suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar, ocasionada por equipamiento de transporte de alta flotación (baja presión sobre el suelo y por medios de transporte del tipo convencionales (de alta presión sobre el suelo). Los resultados mostraron que la densidad aparente fue menor en la superficie después del paso del equipamiento de alta flotación comparado con el equipo convencional.

Vehimeyer y Hendrickson (1948) determinaron que valores de densidad aparentes de 1.46 Mg/cm³ constituyen el umbral crítico para el desarrollo radicular de gramíneas.

Hetz (1999) relaciona un concepto amplio de la compactación del suelo, con el cuál estamos plenamente de acuerdo. Hetz plantea que la compactación del suelo es básicamente, un proceso acumulativo de aumento de la densidad aparente, con una reducción de la macro porosidad, que causa efectos negativos sobre el desarrollo radicular, disminución de la actividad biológica e insuficiente aporte de oxígeno por mala ventilación del suelo; la tasa de infiltración disminuye y los campos permanecen largo tiempo inundados Taylor y Gill (1984); Sánchez-Girón (1996).

Srivastava (1992) plantea una ecuación para determinar la compactación del suelo después del paso de las ruedas traseras del tractor como resultado del incremento del índice de cono .

$$CIa = CIb * \left(1.0 + 1.8e^{-0.11*Bni}\right) (1)$$

Referido a la compactación del suelo originada por el paso de la maquinaria agrícola, Soehne (1958) plantea que el cálculo de la distribución de presiones en el suelo es una función de: carga en las ruedas, presiones de inflado y condiciones del suelo. El campo de tensiones bajo un tractor, trailer o implemento con neumáticos depende de la cantidad de carga, el tamaño del área de contacto entre el neumático y el suelo, y la distribución de la presión superficial dentro del área de contacto, así como de la naturaleza del suelo, su contenido de humedad y densidad.

Upadhy y col (1994) mostraron que el desarrollo de condiciones físicas desfavorables del suelo esta atribuido, entre otros factores al trafico de vehículos asociado con las operaciones del cultivo indicándose el tipo de equipamiento, la presión en el área de contacto rueda / suelo, el numero de pasadas, el tipo de suelo y la humedad del mismo, son las variables que inciden sobre la profundidad a la cual la densidad aparente y el índice de cono se incrementan.

Meek (1996) indicó que en los suelos sometidos a siembra directa en un cultivo de rotación continua trigo-soja. Con tractores de 3020 Kg de peso total y suelos de tipo arcillosos son mayores tanto los riesgos de compactar el subsuelo a niveles que limiten la producción agrícola, como mayor será también la persistencia del daño realizado.

Jorajuria y Draghi (2000) investigaron que el pasaje repetido (10 a 12 veces) de tractores de baja carga / eje (puente delantero 940 Kg y

trasero 2080 Kg sobre la misma senda puede emular e incluso reemplazar al factor peso sobre el eje en la

responsabilidad principal de inducir compactaciones en el subsuelo. A medida que aumentó el número de pasadas del tractor de bajo peso, mayor fue la compactación producida en todo el perfil del suelo

Jorajuria(2001) indicó, además, que la profundidad del horizonte del suelo que reacciona con un mayor incremento del índice de cono tiende a hacerse más superficial a medida que aumenta el número de pasadas. En este mismo sentido.

Botta y col (2001) realiza un experimento para evaluar la incidencia del tránsito repetido de un tractor sobre las propiedades físico mecánicas del suelo bajo siembra directa de un cultivo de soja. Cuantifica la compactación a través de los parámetros del índice de cono y la densidad aparente en cinco muestras, en forma previa y posterior al tráfico de un tractor ,seis, ocho, diez, y doce veces sobre la misma senda, a la profundidades de 0 –150 mm y 300 – 600 mm. Los resultados mostraron que los tratamientos de 6 y8 pasadas tuvieron diferencias significativas respecto al testigo sin tránsito solo en intervalos de 0 –150 mm de profundidad y que solamente se registraron diferencias significativas respecto al testigo por debajo de los 200 mm (compactación superficial) por los tratamientos de 10 – 12 pasadas y concluye finalmente que a mayor número de pasadas, mayores fueron los valores de densidad aparente e índice de cono registrados en todo el perfil del suelo estudiado.

Botta y col (2002) llegó también a la conclusión que, en forma independiente del peso y de la superficie de contacto rueda /suelo, el número de pasadas reiteradas en una misma senda inducen compactación subsuperficial del suelo.

Unger(1996) investigó que independientemente de los efectos del tránsito de vehículos, la densidad aparente y el índice de cono a nivel superficial y sub superficial se incrementan en los sistemas con labranza previa. Estos incrementos naturales en los parámetros están limitados a los 0,15m superiores del perfil del suelo. La condición física del suelo en los estratos superiores del terreno incide también sobre la implantación y el desarrollo inicial de los cultivos .En general, el proceso de germinación es más rápido y completo con densidades aparentes de $1,2 \text{ Mg/cm}^3$ ó menores, con diámetro medio de agregados igual o menor a 4mm y con valores de índice de conos menores de 1,4MPa. Una baja relación profundidad de huella /ancho del neumático indican que la mayor parte de la compactación ocurre cerca de la superficie, indicando que la mayor presión sobre el suelo se produce en el centro de la pisada del neumático .

Smith y Dickson (1990), mostraron datos que indican que la compactación de las capas superficiales del suelo está influenciada principalmente por la presión superficial en la zona de contacto rueda /suelo. Sin embargo para Hekensson (1988) la compactación del subsuelo por debajo de los 400mm, está directamente influenciada, por el peso total siendo independiente de la presión en el área de contacto rueda/ suelo. La carga que existe sobre el eje provoca una tensión en la superficie de contacto rueda– suelo que produce el hundimiento del neumático en el suelo blando.

1.3 Conocimientos sobre los estudios realizados en la determinación del índice de cono para caracterizar los tipos de suelos y las cargas normales y tangenciales que son capaces de soportar.

Mc Kyes (1985) indicó que el índice de cono refleja características combinadas “de compresión y corte del suelo” y la contribución de estos factores no se puede ser fácilmente diferenciada. Es decir que es en realidad un parámetro compuesto que refleja el corte, compresión,

tensión y fricción suelo - metal, variando todos ellos con el porcentaje de humedad presente(HP) en el suelo.

Turnage y Col (1972) demostraron, trabajando con suelos granulares finos, con humedades entre 20 y hasta 50 %, que la resistencia a la penetración disminuye logarítmicamente con el aumento de la humedad para diferentes densidades.

Jorajuría y Col (1996 –1997) Demostraron que los factores que varían los datos obtenidos de la lectura del penetrómetro están asociados con :

- contenido de humedad presente en el suelo
- densidad del suelo
- ángulo del cono
- tipo de suelo

Fraitag (1986) indicó que los siguientes factores asociados a la medición, inciden incrementando la resistencia a la penetración: diámetro de la varilla, rugosidad del cono y velocidad de penetración. Mientras que otros como el ángulo del cono y el diámetro de la base, inciden inversamente.

Ayres y Perumpral (1992) Trabajaron con 5 tipos de suelos homogéneos preparados: 100% de arcilla. 75% de arcilla 25% de arena. 50% de arcilla 50% de arena. 25% de arcilla 50% de arena y 100% de arena. Trabajaron con 3 niveles de compactación inducidos por golpes de masas conocidas y estudiaron la relación (densidad

aparente y índice de cono) para bajos niveles de humedad hasta 20% base seca. Se usó un penetrómetro de cono, pero no se respetó la velocidad de penetración recomendada por la ASAE haciendo hincapié en los trabajos de Turnage (1970 y 1972) quien concluyó que la velocidad de penetración no afecta el resultado final en suelos gruesos y muy poco en suelos finos. Los resultados muestran que las relaciones entre el porcentaje de humedad y la densidad ó IC presentan curvas típicas donde cada valor alcanza un valor máximo para un determinado porcentaje de humedad. Fuera del cual el IC y DA caen. A su vez el IC tiene siempre un pico máximo a un valor de humedad inferior al que le corresponde el máximo de densidad. Por otro lado a medida que se incrementó el porcentaje de arcilla, mayor fue la humedad requerida para alcanzar el valor máximo de índice de cono. Para suelos de textura dada a medida que se aumentó el nivel de compactación inducida, mayores valores de IC se registraron, pero no varió el porcentaje de humedad donde se presentaron esos picos. Para todos los suelos, salvo para los 100% arena los valores fueron independientes, cuando el suelo estuvo muy seco (porcentaje de HP:3 a6 %), la relación IC y DA fue exponencial y pasó a ser lineal cuando se humedeció la muestra de suelo preparada.

1.4 situación actual sobre el conocimiento de la fabricación de equipos con transferencia de peso al tractor.

Una práctica a nivel mundial , en la fabricación de equipos para el transporte intermedio de la caña de azúcar es diseñar los remolques con transferencia de peso al tractor . Las ventajas de utilizar este método se expresan en la mejora de las cualidades de tracción , el aumento de la capacidad de paso, el incremento de la eficiencia del frenado y la reducción de la compactación del suelo, González (1997).

Los remolques para caña de azúcar fabricados en Cuba, no aprovechan las ventajas de la transferencia de peso y todo el peso que recae sobre ellos forma parte de su resistencia a la rodadura y a la vez determina la alta presión específica que poseen estos equipos, González y col (1997), González y col (2002), González y col (2003), Rodríguez (1999)

El peso del equipo de tracción debe reducirse al mínimo en el puente trasero y aprovechar la transferencia del peso que le ofrece el remolque con fines de incrementar las posibilidades de tracción del tractor y disminuir la compactación del suelo, esta transferencia del peso se ve limitada por la carga máxima que puede soportar los neumáticos y eje trasero; y porque puede tener pérdidas de dirigibilidad del tractor.

1.5 Conocimientos acerca de análisis de estructuras utilizando el método de elemento finito.

Vasallo (1991), Cabrera y Fornóns (1982) manifiestan que:

El análisis de la resistencia de los materiales, piezas y estructuras utilizados para la fabricación, tanto de máquinas y equipos, como en la Agricultura e Ingeniería Civil, resulta un trabajo muy largo, y que la utilización de gran número de

ecuaciones matemáticas y constantes lleva a cometer errores e imprecisiones. Plantea que el desarrollo de la computación permitió darle solución a esta problemática a partir del Método del elemento finito. Este método en esencia consiste en dividir la estructura en partes pequeñas (elementos) estableciéndose las ecuaciones de equilibrio para cada uno de sus puntos extremos (nodos), en general se efectúa una formulación matricial del sistema de ecuaciones resultantes que expresa la siguiente forma:

$$\{F\}=[K]*\{\Phi\}$$

donde:

$\{F\}$ – Vector de cargas normales.

$[K]$ – matriz de rigidez .

$\{\Phi\}$ – Vector de desplazamiento nodales.

El empleo de este método solo es eficiente cuando se logra su automatización.

Capitulo : 2

Metodología para las investigaciones experimentales en la modificación del remolque (adaptación de un nuevo sistema de rodajes).

2.1 Transferencia de peso

Los remolques para caña de azúcar fabricados en Cuba no aprovechan las ventajas de la transferencia de peso y todo el peso que recae en ellos forma parte de su resistencia a la rodadura y a la vez determina la alta presión específica que poseen estos equipos en ambos puentes.

La determinación de la transferencia de peso se obtuvo de la forma experimental, a través del pesaje del semirremolque y el tractor en la pesa del central. Para esto se:

- 1 – Se obtuvo el peso total del tractor .
- 2 – Se obtuvo el peso del tractor ,más la transferencia de peso del semirremolque, sin carga, hacia el tractor.
- 3 – Se determinó el peso transferido al semirremolque por la diferencia entre el peso del tractor más la transferencia de peso del semirremolque menos el peso del tractor.
- 4 – Se obtiene el % de la transferencia de peso del semirremolque, a partir de la relación entre el peso transferido y el peso total de semirremolque

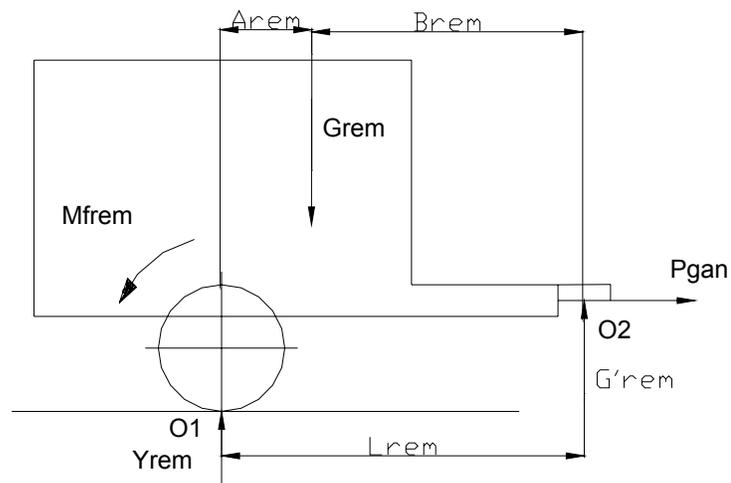
$$G'_{rem} = G(trac+t) - G_{trac} \quad \{2.1.1\}$$

$$\%G'_{rem} = G'_{rem} / G_{rem} * 100 \quad \{2.1.2\}$$

2.1.1 Determinación de la coordenada longitudinal del centro de gravedad .

Chudakov (1977) ofrece un ejemplo para la determinación de la transferencia de peso del semirremolque al tractor, del cual despejamos la coordenada longitudinal del centro de gravedad la cual queda.

Figura 2.1 Esquema para la determinación del centro de gravedad del remolque.



$$Arem = G'rem * Lrem / Grem \quad \{2.1.3\} \quad Lrem = 3.89 \text{ m}$$

Además se calcula la reacción normal del suelo en el eje del semirremolque, a partir de chudakov(1997) .

$$Yrem = (Grem * Brem) / Lrem \quad \{2.1.4\}$$

Donde :

Y rem :Reacción normal del suelo.

Pgan: resistencia de tracción.

Lrem: batalla de remolque.

Arem: coordenada longitudinal del centro de gravedad del remolque.

Brem: Distancia del centro de gravedad a la toma de acople con el tractor.

2.2 Comprobación de la carga máxima admisible del neumático del semirremolque.

El sistema de rodaje más usado en los remolques cañeros son los neumáticos . En los últimos 20 años la tendencia ha sido la introducción de los neumáticos de alta flotación .Determinado por la menor compactación del suelo que origina comparado con los que tradicionalmente se empleaban , una menor presión específica sobre el suelo, por lo que la huella dejada por el remolque durante el trabajo en condiciones de elevada humedad es menor y por tanto la resistencia a la rodadura también es inferior. Ridge (1986), Fuelling (1985) , G.Dick (1987) recomiendan la utilización de este tipo de neumático. En función de estos elementos decidimos emplear neumáticos de baja presión en la modificación del remolque. González(1997)recomienda para las condiciones de los vertisuelos la utilización de neumáticos de 21,3 R24 , el cual fue empleado en la remodelación del semirremolque. Sin embargo no hace la comprobación del neumático a la carga admisible, la cual realizamos a partir de la carga real sobre el neumático debe ser menor que la carga admisible:

$$CN < C_{max}$$

Donde:

$$CN = Y_{rem} / 2 \quad \{2.2.1\}$$

La componente del peso del semirremolque se divide entre dos, porque este es el número de neumáticos que tiene el semirremolque en su puente de rodajes.

2.2.1 Determinación de la carga que debe soportar el neumático del tractor.

Procedimiento similar al anterior se le realizó a lo neumáticos del tractor tomando en cuenta el peso transferido del semirremolque al tractor para una capacidad de carga de 4.6 t

$$CN = [(G_{trac} + G'_{rem}) - G_{pd}] / 2 \quad \{2.2.2\}$$

Donde:

CN: Carga sobre el neumático en kN

Cmax: Capacidad de carga máxima que puede soportar el neumático según el fabricante .

Gpd :Peso del puente delantero del tractor.

Gcarga: Capacidad de carga del remolque en kN

Tabla 2.2 Dimensiones y parámetros constructivos del neumático utilizado en la remodelación del remolque autobasculante.

Tamaño	21.3 R24 (530R610)
Diámetro exterior , mm	1400+/-15
Anchura del perfil	540
Radio estático	640+/-8
Carga máxima permitida kg una rueda	2500 - 3400
Velocidad de trabajo km/h	30km
Diámetro interior ,mm	24 / 25.4

Tabla 2.3 características constructivas del neumático utilizado por el tractor:

Tamaño	15.5R38
Diámetro exterior , mm	1570
Anchura del perfil, mm	394
Carga máxima permitida KN una rueda, mm	20.6
Velocidad de trabajo km/h	30km
Diámetro interior ,mm	38 /25.4

Tabla 2.4 % de Variación de la carga que soporta el neumático a una velocidad dada.

Velocidad máxima admisible	variación en el % carga de la goma	
	motriz	conducida
8	+40	+50
20	+20	+35
25	+7	+15
30	0	0
35	-10	-10

Para ambos casos se tuvo en cuenta la modificación de la carga admisible del neumático cuando viaja a velocidades menores de 30 Km/h. La velocidad del remolque se midió físicamente en el campo, por los procedimientos tradicionales.

2.2.2 Determinación de la presión media específica sobre el suelo del semirremolque.

Dick (1987) y Rodríguez (1999) consideran que las presiones recomendadas para transitar en condiciones de suelo húmedo deben ser menores de 100kPa.

$$P_{me} = CN/A_c \quad \{2.2.3\}$$

Donde:

P_{me} : Presión media específica en kPa.

A_c : Área de contacto del neumático con el suelo.

Sánchez Girón (1996) plantea la siguiente expresión para cálculo del área de contacto del neumático con el suelo en condiciones de suelo blando.

$$A_c = b * L \quad \{2.2.4\}$$

$$b = b_c * 0.87 \quad \{2.2.5\}$$

$$\delta = 0.2 * h \quad \text{Considera una}$$

deformación en el

neumático del 20 %

$$h = (d_c - d_i) / 2 \quad \{2.2.7\}$$

$$L = 2 * \sqrt{\delta (d_c - \delta)^2} \quad \{2.2.6\}$$

$$\delta = 0.2 * h \quad \{2.2.8\}$$

donde:

A_c : Área de contacto constructiva del neumático .

b_c : Ancho constructivo del neumático.

L :Longitud de la huella .

δ : Deformación del neumático.

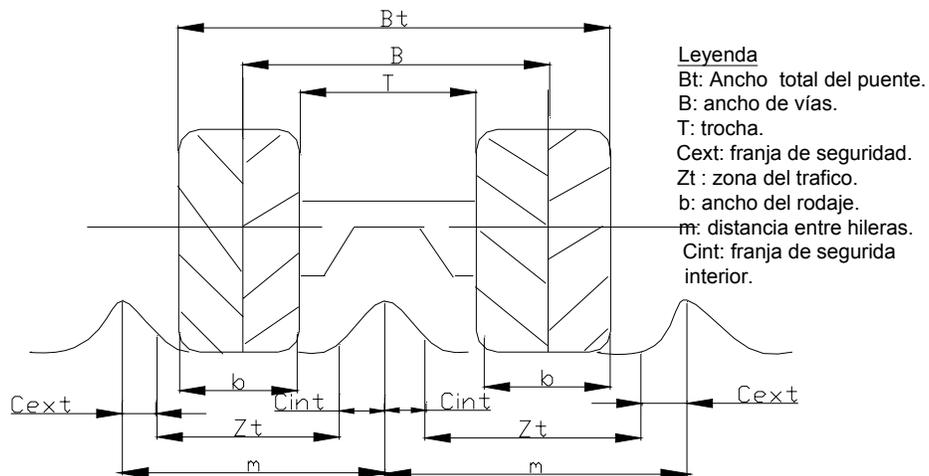
h: Altura del neumático .

dc: diámetro exterior del neumático.

2.3 Determinación del ancho de vía del semirremolque.

El ancho de vía se determinó en función de lograr una adecuada estabilidad a partir de tener el mayor ancho de vía posible. Para esto se tuvo en cuenta el ancho de los neumáticos, el ancho de vía, la separación entre surcos, y siempre respetando la zona de seguridad del cultivo, considerada de 400 mm a ambos lados de la cepa.

Figura 2.2 Esquema del pasamiento entre surcos del remolque .



A partir de chudacov (1977).

$$B=m(n+1)-2C_{ext}-b \quad \{2.3.1\}$$

Donde:

B-ancho de vía . (m)

m-distancia entre surcos. (m)

n-número de surcos bajo el tractor.

Cext-zona de protección exterior de la planta. (m)

b-ancho del neumático

dc- diámetro exterior del neumático . (m)

di-diámetro interior del neumático

Condiciones de pasamiento aplicadas en el cálculo del ancho de vía del remolque autobasculante.

Despejando de Chudakov (1977)

$B_{min} > 2C_{ext} + b$ {2.3.2}

$B_{max} < m \cdot (n+1) - 2C_{ext} - b$ {2.3.3}

Donde:

Bmin: Ancho de vía mínimo.

Bmax: ancho de vía máximo

2.4 Determinación de los momentos de fuerza en el eje remodelado.

Para realizar el cálculo de resistencia al eje del remolque autobasculante

se utilizó el sofwer Cosmos M

Las propiedades de los materiales utilizados en la remodelación del eje son :

Aceros laminados con las siguientes características.

$$\mu=0.3$$

$$E = 2 * 10^5 \text{ MPa}$$

$$\delta f = 240 \text{ MPa}$$

$$n=1.5$$

$$[\delta] = \delta f/n \quad \{2.4.1\}$$

$$[\delta] = 160 \text{ MPa}$$

donde :

μ : coeficiente de Poisson

$[\delta]$: tensión admisible.

δf : tensión de fluencia

E: módulo de elasticidad del material

N: coef de seguridad

Se consideró en la condición de rigidez que la unión del eje del semirremolque al bastidor es un empotramiento y la fuerza aplicada a la pieza fue de 40 kN, distribuida en toda el área de la sección de contacto directo con el peso sobre el neumático.

2.5 Investigaciones experimentales realizadas para caracterizar el estado de las propiedades Físico –Mecánicas del suelo y los efectos de la compactación originados por el paso de las máquinas sobre el mismo.

2.5.1 Características de las condiciones de la experimentación.

Este trabajo se ha realizado en áreas cañeras del CAI Batalla de Santa Clara perteneciente al municipio de Camajuaní ubicado en la costa norte de la provincia de Villa Clara.

Las muestras de la investigación se realizaron en el bloque cañero # 16 , campo 6 y 7 .La variedad de caña que se cosecha es la Cuba 323 con un rendimiento agrícola de 50 t/Ha. El bloque cañero tiene una longitud de (866.76 /1000 m) con un sistema de riego y drenaje parcelario que se alimenta de agua de la presa La Minerva . El suelo característico de estos campos son del tipo gleyhúmicos o hidromorficos, no presentan obstáculos que limiten el uso de las mecanización pero tienen grandes problemas de drenaje debido a la poca pendiente que tienen esos campos , la cercanía a la costa y al alto nivel de arcillas que presentan estos suelos. En el ensayo se tomaron 4 parcelas de longitud 150m donde se realizaron las pruebas. Se utilizaron 4 tratamientos:

- 1 - Testigo –parcela sin haber transitado ningún equipo sobre ella.
- 2 - parcela con dos pases de la combinada TOFT- 600
- 3 - parcela con dos pases de combinada más dos pases del remolque autobasculante y el tractor.
- 4 - parcela con dos pese de la combinada más dos pases del remolque de KAMAZ y el tractor

2.5.2 Determinación del estado de las condiciones del suelo

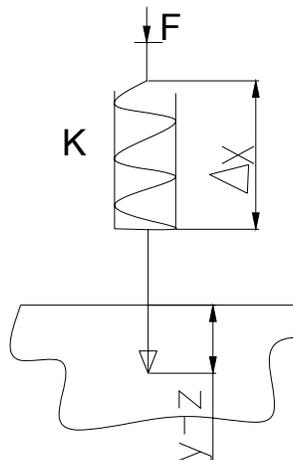
Los suelos vertisuelos son típicos entre los suelos con problemas de drenaje, es preciso conocer la capacidad de soportar el paso de diferentes equipos, para lo cual es necesario realizar un estudio del

comportamiento de su resistencia mecánica lo cual se puede determinar estudiando el comportamiento de :

- Índice de cono.
- El contenido de agua o humedad en los poros del suelo.

El índice de cono se utiliza para caracterizar rápidamente la resistencia mecánica del suelo ,se determina con el penetrómetro de puntas cónicas normado por la ASAE .S. 313. dos puntas, una con un área de 3.2 cm² para suelos blandos y otra de 1.3 cm² para suelo duros.

Figura 3.1 Esquema del penetrómetro.



La fuerza de penetración se determina mediante la siguiente operación aritmética.

$$Ic = \frac{10^2 \cdot \Delta X \cdot K}{\Delta p} \quad \{2.5.1\}$$

Donde:

IC – Índice de cono en el intervalo y-z.(Kpa).

F – esfuerzo con que se realiza la penetración (N).

K – constante elástica del muelle del penetrómetro (N/m).

ΔX – lectura de la deformación del muelle del penetrómetro (cm).

La constante elástica del muelle se obtuvo de forma experimental se demuestra el experimento en el anexo I.

Cálculo de la humedad relativa del suelo en cuanto al peso del suelo seco.

La humedad del suelo se determinó en cada caso por el método gravimétrico, en base al peso del suelo seco mediante la fórmula:

$$W_{ss} = [(P_{sh} - P_{ss}) / (P_{ss} - T)] * 100 \quad \{2.5.2\}$$

Donde:

W_{ss} – porcentaje de humedad en base de suelo seco (%)

P_{sh} – peso de suelo húmedo (g).

P_{ss} - peso de suelo seco (g).

T – tara del pesa filtro (g).

2.5.3 Determinación del grado de compactación del suelo en %

El grado de compactación da una medida del incremento o disminución de la compactación de un suelo después de realizar un operación tecnológica determinada, se puede expresar con la ecuación.

$$C = [(IC_{dt} - IC_{at}) / IC_{at}] * 100 \% \quad \{2.5.3\}$$

Donde:

ICdt: índice de cono después del paso del equipo.

ICat: índice de cono antes del paso del equipo.

compactación del suelo.

Todos los datos mostrados fueron procesados con el paquete estadístico Statgraphics plus :ver anexos II

Capítulo 3

Análisis de los resultados de las investigaciones realizadas para utilizar neumáticos de alta flotación (21.3 R24) en la remodelación del medio de transporte auto basculante para utilizarlo en el tiro de caña de azúcar en condiciones de alta humedad.

3.1 Comportamiento de la transferencia de peso y efecto sobre el equipo de tiro.

Primero se pesó el tractor solo y luego se pesó el tractor con el semirremolque acoplado en posición de trabajo dejando el puente de rodaje del semirremolque fuera de la pesa. dando 36 y 39.5 KN respectivamente. La transferencia de peso se puede determinar por la ecuación: {2.1.1}

$$G'_{rem}=39.5-36$$

$$G'_{rem}=3.5 \text{ KN}$$

El remolque vacío puede transferir al tractor un peso de 3.5 KN

Luego se pesó el semirremolque vacío dando 35 KN. utilizando la ecuación: {2.1.2}

$$\%G'_{rem}=(3.5/35)100$$

$$\%G'_{rem} =10\%$$

Por lo tanto para un peso de la carga de 4.65 t equivalente a 46.5 KN tenemos que se transfiere al tractor 4.65 KN más el peso transferido por el remolque sin carga. Se transfiere al tractor 8.15 KN.

Podemos decir que independientemente del peso de la carga que se le adicione al remolque el siempre va a transferir el 10% de la misma.

3.1.1 Determinación del centro de gravedad del semirremolque.

De acuerdo a la ecuación (2.1.3) y a los resultados del epígrafe 3.1 queda

$$A_{rem} = 3.5 * 3.89 / 35$$

$$A_{rem} = 0.389 \text{ m}$$

$$B_{rem} = 3.90 - 0.389$$

$$B_{rem} = 3.5 \text{ m}$$

La coordenada del centro de gravedad se encuentra localizada 0.389 m hacia delante del eje trasero del semirremolque.

El valor de la reacción normal del suelo se calculó para el eje del semirremolque y con carga. Ecuación {2.1.4}

Para el remolque vacío

$$Y_{rem} = (35 * 3.5) / 3.89$$

$$Y_{rem}=32.2 \text{ kN}$$

Para la capacidad de carga del remolque de 46.5 kN

$$Y_{rem} = (81.5 \cdot 3.5) / 3.89$$

$$Y_{rem} = 73.35 \text{ kN}$$

En condiciones de explotación la reacción normal del suelo pudiera ser superior a los 73.35 kN debido a que el semirremolque pudiera llenarlo en exceso o al trabajo en campos con altos rendimientos agrícolas.

3.2 Determinación de la carga máxima sobre el neumático del semirremolque.

La reacción normal del suelo es igual a la carga que debe soportar el neumático del semirremolque cuando este está sometido a cargas.

$$CN=73.35/2$$

$$CN= 36.67 \text{ KN}$$

Se consideró un valor de velocidad de desplazamiento de 8 Km/h pero también se hizo un análisis para 20 Km./ h; debido a que pudiera darse el caso del movimiento con carga por los caminos o carreteras y llegar a alcanzar estas velocidades.

Tabla 4.1 Valores de carga que pueden soportar los neumáticos 21.3 R24 .

Velocidad de trabajo (Km/h)	1 considerando la carga admisible del neumático(KN) se incrementa hasta en un 25 kN	Limite cuando la carga admisible del neumático se incrementa hasta 34.9 (KN)
8 incremento de 50%	27.5	51
20 incremento de 35%	25.8	45.9

La carga normal máxima calculada fue de 36.67 kN y según los valores de carga admisibles del neumático 21.3 R24 que nos muestra la tabla 4.1 se observa que el neumático puede realizar su trabajo a velocidades que oscilen entre los 8 a 20 Km/h.

3.2.1 Determinación de la carga que debe soportar el neumático del tractor.

Este análisis es preciso realizarlo también para el tractor que se utiliza para traccionar el remolque tomando en cuenta la transferencia del peso y el efecto que produce sobre el eje trasero del tractor.

$$CN = [(36 + 8.15) - 13] / 2 \quad \{2.3.2\}$$

$$CN = 15.57 \text{ KN}$$

El tractor utilizado para traccionar este medio de transporte puede utilizar en su puente de rodaje neumáticos de 15.5 R38 con capacidades de carga admisibles de 20.6 KN por lo cual supera la carga aplicada por la reacción del peso del tractor y la transferencia del peso al mismo que es de 15.57 KN.

3.2.2 Determinación de la presión media específica de semirremolque.

Los resultados del calculo del área de contacto fue de 0.3035 m² este resultado coincide con el obtenido por Rodríguez (1999).

$$b=0.4698 \text{ m}$$

$$L=0.64609 \text{ m}$$

$$A_c=0.3035 \text{ m}^2$$

$$P_{me}=36.67/0.3035$$

$$P_{me}=120 \text{ kPa}$$

Aunque la presión media específica del semirremolque sobre el suelo es algo superior a la recomendada por Dick (1987) y Rodríguez (1999) puede afirmarse que representa un paso importante, si se compara con la presión media específica de los remolques utilizados actualmente en Cuba en la cosecha de la caña.

3.3 Determinación del ancho de vía del semirremolque.

Para determinar el ancho de vía del semirremolque primero se precisaron las áreas por la cuales no podía transitar el neumático(400

mm a ambos lados de la cepa) y no ocasionara daños a la cepa de caña. Se determinó a través de las ecuaciones(2.3.2) y (2.3.3).Se obtuvo que B mínimo =1.34 m y B máximo =1.86 m.

Se tomó como ancho de vía en la remodelación del remolque 1.66 m buscando la mejor estabilidad en el plano horizontal del remolque y que a su vez fuera capas de transitar dejando la mayor franja de seguridad posible. Se respetó por la parte interior de los neumático la franja de seguridad más 0.32 m y por la parte exterior la franja de seguridad más 0.2 m. El transporte remodelado es capas de transitar entre surcos sin ocasionarle daños a la cepa de caña.

3.4 Análisis de resistencia a las tensiones producidas en el puente de rodaje del semirremolque autobasculante.

El proceso de comprobación a la resistencia del eje remodelado se aprecia en los anexo IV, tomando como factor de seguridad de 1.5, los resultados obtenidos de las tensiones máximas de Van Misse por el software Cosmos, fueron de 113 MPa, los cuales son inferiores a las tensión admisible del material. Por lo que se puede afirmar que el eje si resiste los esfuerzos provocados por la acción del peso del semirremolque .

Ver (anexo IV) foto 1 Eje del semirremolque después de realizada la remodelación del mismo.

3.5 Análisis de las pruebas tomadas de penetrometría .

Los datos de la resistencia a la penetración del suelo se tomaron inmediatamente después del tránsito por el suelo de los vehículos en estudio, a una profundidad de 150 mm.

Las condiciones de humedad presentes en el perfil del suelo se tomaron al azar en la parcela testigo. El valor promedio de la humedad fue de un 24.7 %, que para vertisuelos es una condición seca. (ver tabla # 3 en los anexos III)

La resistencia a la penetración se procesó estadísticamente a través del programa Stat graphis Plus 4.1, los resultados se muestran en el anexo # II y en la tabla #3

En el anexo I se muestra como se determinó la constante elástica del resorte utilizado en la medición de índice de cono.

Tabla 4.2 valores medios del índice de cono obtenidos de las mediciones realizadas

Tratamiento	IC (Kpa)
1	715 a
2	974 b
3	989 b
4	1448 c

Las letras distintas en sentido vertical denotan las diferencias significativas que existe entre cada uno de los tratamientos realizados.

Al analizar la resistencia a la penetración en los tres tratamientos con respecto al testigo se encuentran diferencias significativas en los tres casos. Se observa que solo con el paso de la cosechadora Toft 6000, se incrementó el índice de cono en 259 Kpa. Al comparar el efecto del

tránsito del remolque autobasculante se aprecia que incrementa la resistencia a la penetración con respecto al paso de la cosechadora en 15 Kpa y no existe diferencias significativas en el efecto causado por esas labores. Al comparar el paso del remolque de Kamaz con el paso de la cosechadora se observa un incremento del índice de cono en 474 Kpa, diferencia significativa . Este resultado se muestra también al evaluar la compactación ocasionada por los tres tratamientos con respecto al testigo y se aprecia el efecto negativo del tránsito en el tercer tratamiento el cual duplica la compactación del suelo existente antes de la cosecha .

Tabla 4.3 Compactación ocasionada por el paso de los medios de transporte sobre el suelo.

Tratamiento	Compactación en %
1	36.2
2	38.3
3	102.5

Tabla 4.4 Compactación ocasionada por el paso de los medios de transporte después del paso de la cosechadora.

Tratamiento	Compactación en %
2	1.54
3	48.6

Al evaluar el incremento de la compactación con respecto al paso de la cosechadora se aprecia que el paso del remolque de Kamaz ocasiona un incremento de la compactación del 48.6 %, muy superior al originado

por el remolque autobasculante que es de 1.54%, casi despreciable. La causa fundamental de este resultado es debido a la alta presión sobre el suelo que ejerce este remolque, determinado por su gran peso por eje y utiliza neumáticos de poca área de contacto y altas presiones de inflado. Estos resultados coinciden con los planteados por Smith y Dikson (1990) y otros investigadores que expresan la influencia de la presión superficial en la zona de contacto rueda-suelo en la compactación de las capas superficiales del suelo

Los resultados finales de la evaluación del tránsito del remolque autobasculante muestra que la compactación ocasionada por su tráfico en el campo es inferior en un 47.06 % a la compactación ocasionada por el remolque RC -10 ,lo que da una medida de la importancia de su utilización futura en el transporte de la caña de azúcar en función de disminuir la compactación originada durante la cosecha y transporte.

Conclusiones

1. El semirremolque autobasculante modificado con neumáticos 21.3x24 cumple con los requisitos aerotécnicos del cultivo referido a la protección de la franja de seguridad del cultivo.
2. El semirremolque autobasculante modificado con neumáticos 21.3x24 posee una presión específica sobre el suelo que le posibilita el tránsito sobre suelos húmedos.
3. El eje remodelado adaptado al semirremolque autobasculante modificado cumple con los requisitos de seguridad y resiste las tensiones máximas a las que se enfrentará.
4. El semirremolque autobasculante transfiere al tractor el 10 % de peso, que para su carga de diseño máxima representa 8.15 kN
5. Los neumáticos seleccionados para el semirremolque autobasculante modificado resisten la carga sobre ellos a las velocidades de trabajo.
6. El paso del semirremolque autobasculante solo origina un incremento de la compactación de 1.54 % con respecto al paso de las cosechadoras.
7. La utilización del semirremolque autobasculante modificado con neumáticos 21.3x24, en sustitución del remolque RC 10, significa una reducción de la compactación originada en el suelo de 48.6 %, o una disminución de la resistencia del suelo a la compresión de 459 kPa.

Recomendaciones

- 1- Realizar estudios en los tractores utilizados formando agregados con el remolque con fines de modificar el punto de enganche y que este pueda aprovechar al máximo el peso transferido a su puente trasero .
- 2- Enfocar la utilización de neumáticos de alta flotación en la remodelación de los medios de transporte ya existentes en el país.
- 3- Incorporar estas tecnologías en las zonas que presentan grandes problemas de drenaje y pueden compactarse con facilidad .

Bibliografía:

- 1- Cock, J .:"Overview of sugar cane production in Colombia" ,Sugar Cane (2) , marzo-abril de 1993.

- 2- Humbert, R.P.: "adelantos de la mecanización de la zafra " , Agricultura de las América 20 (11) y : 33-35 EUA 1971.

- 4- Vallace, L.: "Condog mill area move to 100% mechanical harvesting", Sugar Journal s.l, s.n, diciembre, 1974.

- 5- Rodríguez, M y González ,O.:"Análisis de los medios de transporte para la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en suelos con mal drenaje con elevada humedad " ,Informe, 1992.

- 6- Rodríguez, M y González ,O.:"Desarrollo de la tecnología de cosecha mecanizada de la caña de azúcar en suelos pesados de Cuba en condiciones de alta humedad" ,Proyecto de investigación, 1996.

- 7- Ridege,D.R.:"High Flotation – high cost studies Shan not necessarily so .."BSES Bulletin (Australia) (13):10-11:Enero, 1986

- 8-Braunak, M.v.:"The extent of soil compaction in sugar Cane soil and a technique to minimise it" .. Sugar Cane (Inglaterra) (5):1993

- 9-Silveira ,J.A.:" Máquinas Agrícolas": La Habana : Editorial Pueblo y Educación ,1980.

- 10- Toft .Australia. Transportes(catálogo industrial de transportes cañeros).

- 12- Santiesteban R.: "Notiazucareras : Cosechadoras australianas para Hawai" ,Revista ATAC, 34(2): 46-48 La Habana ,1975.

13- Iglesias C y col : <<Bases teóricas para la optimización de algunos de los parámetros de los medios de transporte para el tiro de la caña de azúcar >>,Revista ATAC ,4: 3-7 ,La Habana ,1984.

14- Dick R .G,Developers aim for optimum high flotation high capacity vehicle , BSES Bulletin , 20, October, Australia , 1987.

15- Veihmeyer, F.J. , Hedrickson , A.H. , 1948. soil density and root penetration soil science 85 , 487-493 .

16-Jorajuria ,D. 2001. distribución vertical de la compactación del suelo bajo el tráfico vehicular agrícola .tesis Doctoral .Universidad Politécnica de Valencia , España.135p.

17- Jorajuria ,D. 2000 sobre compactación ,del suelo agrícola Parte1 ;Influencia del peso y el número de pesadas. Revista Brasileíra de Engenharia Agrícola e Ambiental (4),445-452.18 –

18- Meek, P.1996” Effets of skidder traffic on two types of forest soils”. Technical report forest Eng .Res Inst of Canada . #TR117,12pp ASAE (1999).

19 - Upadhyayas. K y Col ,1994” Advances in Soil Dynamics” . Vol 1; Ed. De Voreltansen . St .Joseph MI. 313 pp.

20-CAMECO.E.U.A. Vagón de autobasculación alta (catálogo industriadle remolques).

21-Olea,I. Visita a las zonascañeras de Luisiana y Florida E.U.A. Avance Agroindustrial (Argentina) 13 (52) : 31-35:Marzo1993.

22-Jorajuría,D.; Draghi.L y Aragón , A 1995 "Compactación del suelo bajo Tráfico repetido". Investigación Agraria .Prod.Prot.Veg10(3):473-483.

23- Jorajuría,D y Draghi.L 1997 "The distribution of Soil Compaction with depth and the Response of a Perennial Forage Crop".(La distribución de la compactación del suelo según la profundidad y la respuesta del cultivo forrajero perenne).Journal of Agricultural Engineering Research.(66)261-265.

24- Turnage,G.W.:1970 "Resistanceof fine grined soils to high-speed penetration "(Resistencia de los suelos de granulometría fina a altas velocidades de penetración).Technial Report No3-652 .Measuring soil properties in vehicle mobility research. Report 5-47. Vcsburg, Miss.,U.S.Arm y Waterways Experimental Station.

25- Turnage.GW 1972 Tire selection and performance prediction for off-road wheeled-vehicle operation(Selección de ruedas y predicción de la prestación para operación de vehículos con ruedas de locomoción extraviaria).Proceeding of de IV international conference of the ISTVS.Estocolmo.Vol.1.

26- Mc Kyes.E 1995 Soil cutting and Tillage (Corte del suelo y labranza). Elsevier. Ámsterdam.217pp

- 27 -Freitag,D.R 1968 Penetration tests for soil measurement (ensayos de penetración para evaluaciones de suelo).Transactions of the ASAE, 11(6):750-753.
- 28 - González, O.; Rodríguez, M. (2002) Comparación de las cualidades de tracción del tractor MTZ 80 con neumáticos traseros dobles y neumático de alta flotación 20.8x38 con el tractor Fiat New Holland 110-90 trabajando en vertisoles con alta humedad, Memorias Convención Metánica 2002, La Habana
- 29 - Srivastava, A. K.; Goering, C.E.; Rorhbach, R. (1992) Engineering principles machine. Editorial ASAE, Michigan
- 30 - Rodríguez Orozco M., Garrido J., González O., Madruga R.: “Influencia de las lluvias sobre las zafras azucareras en los campos con suelos de mal drenaje. “ Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias (Cuba), pp 55-59, N0 3, 1999
- 31 - Rodríguez Orozco, M. :“ Fundamentación del uso de rodaje por semiesteras en las cosechadoras cubanas de caña de azúcar para trabajar en suelos de mal drenaje con condiciones de elevada humedad,” Tesis de Doctorado, UCLV, 1999.
- 32 - González Cueto, O y Rodríguez Orozco,M. : “ Valoración de una tecnología para el transporte de la caña de azúcar en cualquier condición de humedad,” ATAC (Cuba) pp 10-14, N0 1, 1998.

- 35 - Sánchez-Girón Renedo, V. "Dinámica y Mecánica de Suelos". Ediciones Agrotécnicas, Madrid, 426, 1996
- 36 -Torres, J. S., S. J. Yang., F. Villegas., "Soil compaction and cane stool damage by semimechanized harvesting system in the wet season". Sugar Cane, No.5, 12-16, 1990.
- 37 -Torres, J. S., y F. Villegas "Differentiation of soil compaction and cane stool damage". Sugar Cane No.1, 7-11, 1993.
- 38 -ASAE (1999). Soil cone penetrometer. Norma ASAE S313.3, Michigan, ASAE
- 39 -Chudakon, D. A: "Fundamentos de la teoría y el cálculo de tractores y automóviles", 413 pp., Editorial MIR, Moscú, 1997
- 40 Taylor,J.; Burt,E. y Bailey,N. 1982 Multipass behavior of a pneumatic tyre in tilled soil. ASAE Paper: 82-1549
- 41 Poole,H "Cost effective sugar cane transport". Sugar cane,No1,1989
- 42 T.B.F.Thompson" The role of weight Transfer Hitches in Cane Transporting".Sugar y Azucar, January .1998
- 43 – WWW.unlu.edu.av/maggro/h_2001.pdf Perfil de la compactación...
- 44 -WWW.agro.unlpam.edu.av/maquinaria/tract_981/pdf Compactación del suelo durante el laboreo secundario...

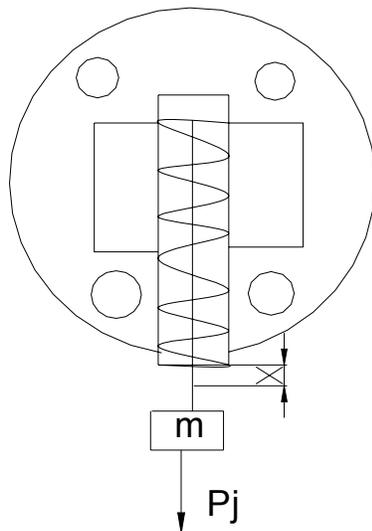
45 -WWW.agro.unlpan.edu.av/ Compactación del suelo Meek 1996

Anexo I

Determinación de la constante elástica del resorte utilizado en la medición del índice de cono:

Metodología utilizada para determinar la constante elástica del resorte utilizado en la medición con el penetrómetro .

figura del soporte preparado para determinar la constante elástica del resorte.



Para determinar la constante elástica del resorte se conformó un soporte para sujetar la parte externa del penetrómetro de forma vertical con respecto al suelo ,luego se conformó un gancho para colgar en el una serie de masas que lograrán deformar el resorte , al mismo tiempo se le tomaron las mediciones de las deformaciones que se produjeron por la acción de cada peso que se le colocó al mismo.

Se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$P_j = m \cdot g$$

$$P_j = K \cdot \Delta X$$

$$K = P_j / \Delta X$$

Donde:

P_j – Peso en el gancho(N)

m – masa colocada en el gancho(Kg)

K – constante elástica del resorte (N/m)

ΔX -deformación del resorte (m)

Tabla 1 con los valores de fuerza y deformación aplicados al resorte.

SOMETIDO A CARGA				SOMETIDO A DESCARGA			
masa colocada en el gancho m - Kg	fuerza en el gancho P - (N)	Deformación del resorte (X-Xo) -mm	Deformación del resorte (X-Xo) -m	masa colocada en el gancho m - Kg	fuerza en el gancho P - (N)	Deformación del resorte (X-Xo) -mm	Deformación del resorte (X-Xo) -m
8,8	86,768	22	0,0022	39,05	385,033	93,5	0,00935
12,4	122,264	31,5	0,00315	35,7	352,002	85,5	0,00855
15,7	154,802	39,5	0,00395	32,35	318,971	78	0,0078
19,05	187,833	46,5	0,00465	29,05	286,433	70,5	0,00705
22,4	220,864	54,5	0,00545	25,7	253,402	62,5	0,00625
25,7	253,402	62,5	0,00625	22,4	220,864	55	0,0055
29,7	292,842	70,5	0,00705	19,1	188,326	46	0,0046
32,35	318,971	78	0,0078	15,75	155,295	38,5	0,00385
35,7	352,002	85,5	0,00855	12,4	122,264	31,5	0,00315
39,1	385,526	92,5	0,00925	8,8	86,768	22	0,0022
42,45	418,557	110	0,011		2369,358		0,0583
	2793,831		0,0693				
	253,9846		0,0063		215,3962		0,0053
		Constante K				Constante K	
		40315,02				40640,79	

En las tablas siguientes se hace un análisis de varianza a los resultados de las fuerzas y deformaciones aplicadas en el gancho.

FUERZAS

ANOVA Table for fuerza gancho by Casos

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1522.52	1	1522.52	0.14	0.7146
Within groups	209960.0	19	11050.5		
Total (Corr.)	211483.0	20			

Anexos I :(continuación)

Casos	Count	Average
1	11	253.985
2	10	236.936
Total	21	245.866

Casos	Standard error	Coeff. of variation
1	33.077	43.1932%
2	31.5542	42.1141%
Total	22.4395	41.8238%

DEFORMACION

ANOVA Table for deformacion1 by Casos

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	115.71	1	115.71	0.18	0.6804
Within groups	12560.6	19	661.084		
Total (Corr.)	12676.3	20			

Casos	Count	Average
1	11	63.0
2	10	58.3
Total	21	60.7619

Casos	Standard error	Coeff. of variation
1		
2		
Total		

1	8.22247	43.2871%
2	7.54512	40.9259%
Total	5.49379	41.4333%

Anexo II

Tabla #2 Lectura del penetrómetro y el calculo del IC para cada parcela.

Lectura del penetrómetro de cono en la parcela testigo X(m)	Lectura del penetrómetro de cono después del paso de dos combinadas x(m)	Lectura del penetrómetro de cono después del paso dos veces del remolque con carga x(m)	Lectura del penetrómetro de cono después del paso dos veces del remolque de CAMAZ con carga x(m)	Índice de cono sin paso de maq IC=kPa	Índice de cono después del paso de dos combinadas IC=kPa	Índice de cono después del paso dos veces del remolque con carga IC=kPa	Índice de cono después del paso dos veces del remolque de CAMAZ con carga IC=kPa
0,7	0,8	0,65	1,3	889	1016	825	1651
0,2	0,7	0,8	1,4	254	889	1016	1778
0,46	0,55	0,92	1,2	584	698	1168	1524
0,44	0,92	0,6	1,08	558	1168	762	1371
0,68	0,94	0,6	1,2	863	1193	762	1524
0,5	1,08	0,82	1,3	635	1371	1041	1651
0,56	0,68	0,8	1,2	711	863	1016	1524
0,6	1	0,66	0,9	762	1270	838	1143
0,34	0,52	0,7	1,2	431	660	889	1524
0,6	0,58	0,62	1,3	762	736	787	1651
0,44	0,7	0,7	0,89	558	889	889	1130
0,44	0,96	1	1,25	558	1219	1270	1587
0,56	0,86	0,78	1	711	1092	990	1270

0,52	0,7	0,84	1,1	660	889	1066	1397
0,6	0,92	0,76	0,92	762	1168	965	1168
0,3	0,8	0,78	1,27	381	1016	990	1612
0,72	0,56	0,5	1,35	914	711	635	1714
0,42	0,82	0,85	0,9	533	1041	1079	1143
0,72	1,04	0,66	1,1	914	1320	838	1397
0,8	0,86	0,86	1,15	1016	1092	1092	1460
0,8	0,8	0,98	1	1016	1016	1244	1270
0,46	0,74	0,98	1,02	584	939	1244	1295
0,5	0,66	0,7	1,3	635	838	889	1651
0,56	1,06	0,76	1,17	711	1346	965	1485
0,78	0,86	0,78	1,25	990	1092	990	1587
0,62	0,8	0,7	0,9	787	1016	889	1143
0,5	0,56	0,9	1,25	635	711	1143	1587

Anexo II (continuación)

Procesamiento de datos del índice de cono en Statgraphics plus.

Multiple Range Tests for INDCONO by Condicion

Method: 95.0 percent Duncan

Condicion	Count	Mean	Homogeneous Groups
-----------	-------	------	--------------------

1	30	715.8	X
2	30	974.9	X
3	30	989.333	X
4	30	1448.73	X

Contrast	Difference
----------	------------

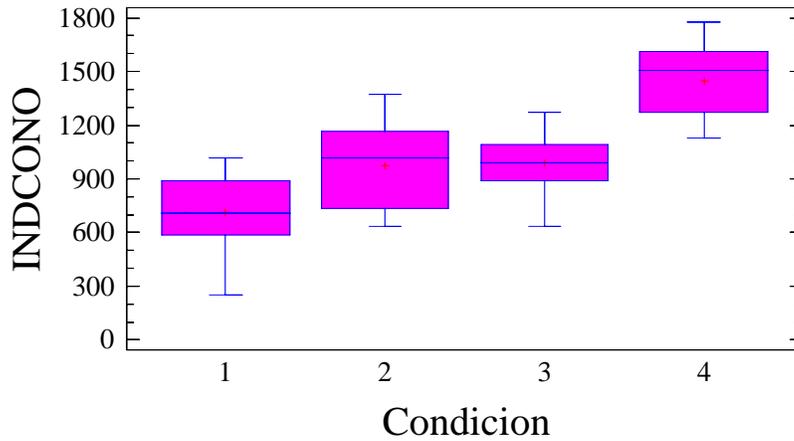
1 - 2	*-259.1
1 - 3	*-273.533
1 - 4	*-732.933
2 - 3	-14.4333
2 - 4	*-473.833
3 - 4	*-459.4

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 5 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Duncan's multiple comparison procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling one or more pairs significantly different when their actual difference equals 0.

Box-and-Whisker Plot



Anexo III

Tabla #3 tabla que muestra el valor del peso de suelo en diferentes estados y el % de humedad en base al suelo seco del mismo.

Peso de la muestra tomada en el campo Ph=g	Peso seco de la muestra .Ps=g	Peso del agua contenida en cada muestra Pa=g	%De humedad en el suelo. H=%	pf=G
53,9185	42,6664	11,2521	26,4156126	0,07
52,3909	40,7453	11,6456	28,6729385	0,13
48,2585	40,3463	7,9122	19,7133268	0,21
48,6464	39,4379	9,2085	23,5463934	0,33
45,1902	36,2509	8,9393	24,8929991	0,34
47,84	39,4533	8,3867	21,4915192	0,43
50,975	43,2836	7,6914	18,1086604	0,81
52,912	40,9736	11,9384	29,9331053	1,09
49,5389	38,0798	11,4591	31,0630581	1,19
54,3388	43,7567	10,5821	24,8834262	1,23

Summary Statistics

Code	Count	Average	Median	Standard Deviation
1	30	715.8	711.0	191.119
2	30	974.9	1016.0	224.605
3	30	989.333	991.0	159.738
4	30	1448.73	1505.0	195.7
Total	120	1032.19	1016.0	327.131

Code	Standard Error	Minimum	Maximum	Coefficient of variation
1	34.8933	254.0	1016.0	26.7%
2	41.007	635.0	1372.0	23.0387%
3	29.164	635.0	1270.0	16.146%
4	35.7297	1130.0	1778.0	13.5083%
Total	29.8628	254.0	1778.0	31.6929%

The StatAdvisor

This table shows sample statistics for the 4 levels of Condicion.

Anexo IV

Figura 2.3 Sección del eje donde se realizó la remodelación para el acople del centro de combinada.

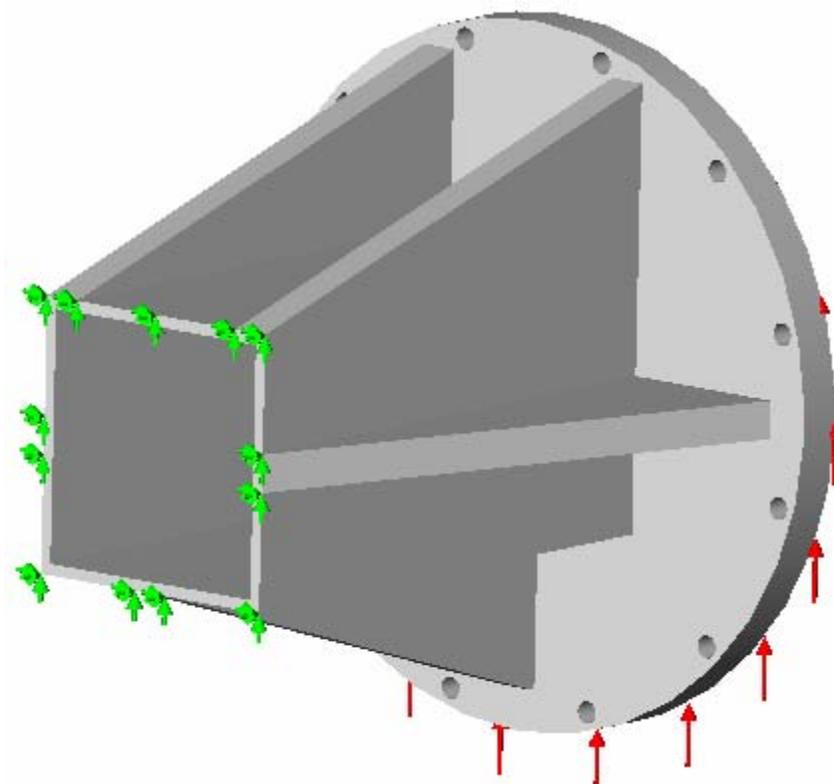
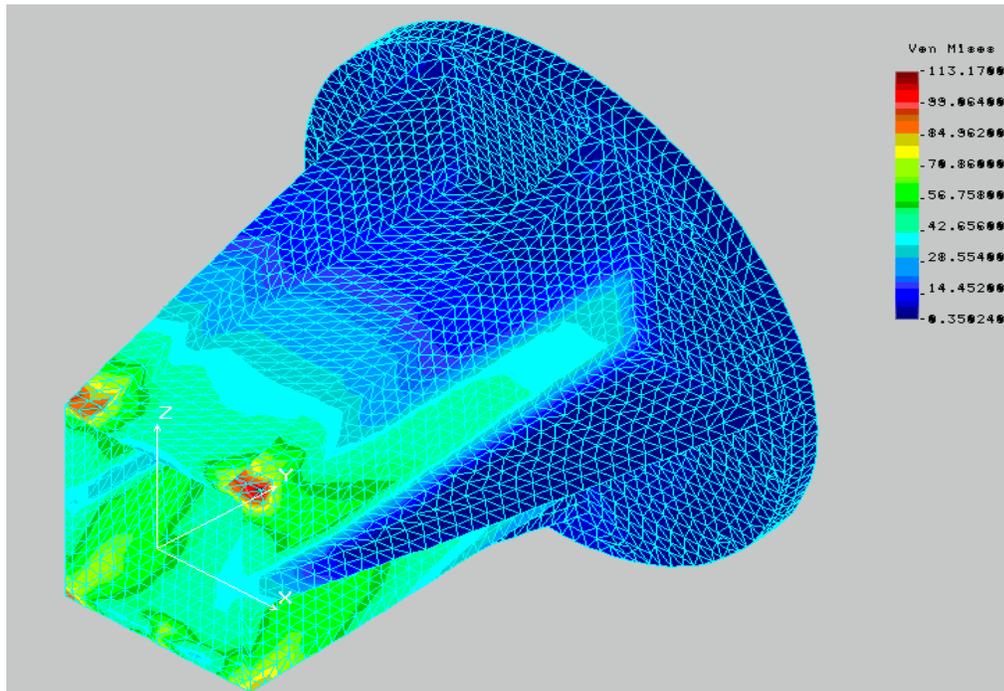


Figura 2.4 diagrama de las tensiones originadas en el eje del remolque



Anexo V

Foto # 1 Eje del remolque con el diseño para acoplar el centro de combinada.



Foto #2 Remolque antes de realizar la modificación

