

# DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TRANSPORTADOR MECANICO DE CAFE CEREZA POR CABLE AEREO

FERNANDO PATIÑO VALENCIA<sup>1</sup>  
ADOLFO L. GOMEZ PERLAZA<sup>2</sup>  
FERNANDO ALVAREZ MEJIA<sup>3</sup>

## RESUMEN

*Debido a que la zona cafetera Colombiana es de difícil topografía, el transporte del café desde las plantaciones hasta el beneficiadero se hace complicado y requiere de la utilización de animales de carga, fuerza humana y/o vehículos. Para trasladar por medios mecánicos el café cereza recién cosechado, se diseñó y construyó un transportador en el Centro Nacional de Investigaciones de Café -CENICAFE-, ubicado en el municipio de Chinchiná (Caldas), empleando un cable aéreo, proyectado para que enviara el café cereza a granel desde el sitio de cargue (parte baja del terreno) hasta el sitio de descargue (parte alta localizada en el beneficiadero experimental).*

*El medio de tracción es un cable tractor "abierto" unido por un extremo al torno de fuerza motriz y por el otro a la carga. Se aprovechó la pendiente del terreno para enviar, por gravedad, la vagoneta al lugar de cargue. El control de velocidad de descenso se hizo a través del freno del malacate.*

*El transportador se diseñó para superar pendientes del 30 % con una carga total de 300 kg (24 @), de los cuales 175 kg (14 @) corresponden al peso del café cereza y los 125 kg (10 @) restantes al peso de la vagoneta. La longitud de recorrido del transportador es de 180 m y la velocidad de traslación de la vagoneta cargada es de 1.3 m.s<sup>-1</sup>*

*El ciclo completo de cargue y descargue del material es de unos 400 s; por lo tanto, la capacidad del*

---

<sup>1</sup> Ingeniero Mecánico. Universidad del Valle.

<sup>2</sup> Profesor Titular. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle. Apartado 25250.

<sup>3</sup> Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Apartado 568.

transportador es de  $1.6 * 10^4$  kg.h<sup>-1</sup>.

*Las características topográficas del terreno y el espacio disponible, hicieron necesario orientar el cable aéreo portante en tres sentidos, con pendientes y tramos diferentes.*

*Se identificó el cable aéreo como el elemento principal del estudio, razón por la cual se determinaron las tensiones y desplazamientos en el mismo utilizando para ello un programa desarrollado durante el trabajo (programa "CABLE. BAS").*

*Con base en los resultados obtenidos, fueron dimensionados los elementos principales del transportador, tales como columnas metálicas de celosía, zapatas o fundaciones para las columnas, anclajes para el cable aéreo portante y se calcularon y/o se seleccionaron los elementos del sistema de transmisión de potencia mecánico.*

*Palabras clave: transporte por cable, transporte de café cereza, capacidad de transporte.*

#### ABSTRACT

#### DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CHERRY COFFEE BINS MECHANICAL TRANSPORTATION BY CABLE.

*Coffee transportation from plantation to exploiter is made by animal load, human power or vehicles due to difficult topography of coffee plantations. A mechanical transport was constructed at The Centro Nacional de Investigaciones del Café (CENICAFE) located in Chinchiná (Caldas). It was used an airy cable to send the cherry coffee bins in a heap from freight station (slope portion of ground) to receiving end (height portion located in the experimental exploiter).*

*Traction was an "open" cable tractor, joined from an extreme to motive power spinning and from the other to load. To send by gravity the tram to freight station, it was used the slope ground. Fall velocity control was made by the hoisting machine brake.*

*The carrier was designed to exceed slopes of 30% with a total of 300 kg bag (24 @) from which 175 kg (14 @) are the cherry coffee total weight and the remaining 125 kg (10 @) are tram weight. The transport length trip is 180 m, and the translation velocity of load tram is 1.3 m.s<sup>-1</sup>.*

*The material loading and unloading total cycle is about 400 s; therefore, the transport capacity is  $1.6 * 10^4$  kg.h<sup>-1</sup>. Airy cable bearer was orientated in three ways with different stretches and slopes.*

*As the airy cable was the principal element of the study, tensions and displacements were determined using a*

*developed program named ("CABLE.BAS" PROGRAM).*

*According to results were measured the principal elements of the transport as metal columns of the window lattice, shoes or bases for the columns, anchorage for the airy cable bearer and then it was chosen the system's elements of the mechanical power transmission.*

*Key words: transportation for cable, transportation of the cherry coffee bins, transportation capacity.*

## INTRODUCCION

Todos los países agrícolas poseen sistemas para el manejo y transporte de los productos recién cosechados desde la plantación hasta las plantas de beneficio o embarque.

En la actualidad, el uso del cable aéreo en la zona cafetera Colombiana ha tenido poco desarrollo, debido en parte, a que existe poca información técnica al respecto. Por este motivo, el transporte del café cereza se hace utilizando fuerza humana, animales de carga o vehículos.

La mecanización del transporte del café cereza en las fincas, mediante el cable aéreo, permite disminuir el tiempo actual empleado para tal fin cuando se utilizan los medios mencionados anteriormente.

Lo anterior significa que mediante el diseño y construcción apropiados de un transportador mecánico, se puede mejorar la eficiencia en esta operación, evitar el deterioro del producto antes de que llegue al beneficiadero, minimizar los costos de transporte del café cereza y aprovechar mejor el recurso suelo, evitando los procesos erosivos del mismo y disponiendo de mayor área de cultivo.

Varios autores coinciden en afirmar que en aquellas zonas donde la construcción de caminos transitables se hace costosa, resulta importante el cable aéreo como el sistema de transporte más seguro, económico y eficiente (Anaya y Christiansen ,1986; Baumeister y Marks, 1967; González, 1974; Soto, 1985; Targhetta y López, 1970 y Williamson y Williamson, 1950).

Existen varios tipos de transportadores mecánicos. El empleo de uno u otro sistema depende de la longitud del trayecto, capacidad requerida del material a transportar, el procedimiento de arrastre de las cargas, el tipo, el costo y el mantenimiento de la instalación.

Las partes principales que componen un transportador mecánico por cable aéreo son:

1. el cable aéreo portante: es un cable metálico de acero que se mantiene elevado por medio de torres lo

suficientemente alto para permitir el paso de las vagonetas cargadas o vacías, evitando el contacto de éstas con el terreno. Tiene también la función de servir de pista de rodamiento del juego de ruedas que ésta trae en su parte superior. El cable aéreo portante permanece estático y va anclado al terreno, llevando en uno de sus extremos un dispositivo tensor o contrapeso,

2. el cable aéreo tractor: es un cable móvil al que se le imprime movimiento por medio de un sistema de fuerza motriz. A este cable se fijan las cargas o vagonetas, a las que se les da el movimiento necesario para que viajen a lo largo del cable portante,
3. estaciones de cargue y descargue: son puntos terminales definidos, en uno de los cuales se instala el sistema de fuerza motriz y en el homólogo se instala el sistema tensor o contrapeso. Cuando la trayectoria entre las estaciones terminales no es rectilínea horizontalmente, se debe construir una estación " de ángulo " para que facilite el paso de las vagonetas sin que se descarrilen,
4. el sistema de fuerza motriz: tiene como función suministrar la potencia necesaria para dar la suficiente tensión y la velocidad necesaria, de manera regular y controlada, al cable tractor para trasladar las vagonetas,
5. las vagonetas: son los elementos móviles utilizados como depósito para transportar el material de interés; pueden ser cargadas y descargadas automática o manualmente,
6. las torres o soportes: según Novitsky (1966), su función es mantener el cable lo suficientemente elevado del terreno. Se construyen en madera, hormigón armado y estructura metálica,

El transportador mecánico con cable tractor abierto se emplea cuando el cable portante tiene una pendiente mínima del 20 % y es empleado para bajar o subir la vagoneta por medio del cable tractor.

El cable aéreo en un transportador constituye el elemento principal, pues de él depende esencialmente el funcionamiento del sistema, la seguridad y la eficiencia del transportador. Por esta razón es indispensable reconocer los diferentes esfuerzos a que está sometido un cable aéreo portante para seleccionarlo adecuadamente, es decir, que soporte los esfuerzos calculados y tenga una duración prolongada.

Ernst (1970) afirma que un cable aéreo en funcionamiento presenta simultáneamente, esfuerzos de tracción, esfuerzos de flexión debidos a las presiones de las ruedas de la vagoneta, presiones entre los diferentes alambres o capas del cable debido a los esfuerzos longitudinales, rozamientos internos, desgaste, corrosión, fatiga y fluencia.

Sobre la flexión en cables aéreos cargados transversalmente se puede afirmar:

1. el esfuerzo de flexión en un cable cargado transversalmente es menor al tener éste un radio de curvatura

grande, el cual es función de la tensión dada al cable y de la magnitud de la carga transversal,

- con respecto a la tracción, se ha comprobado que la resistencia de un cable es un 25 % menor que la resistencia que presentaría la suma de las áreas de los alambres que lo componen, tal vez debido a que la distribución de esfuerzos no es uniforme en el área transversal del mismo. La disminución de la resistencia en el cable es debida probablemente al arrollamiento e inclinación de los alambres y torones.

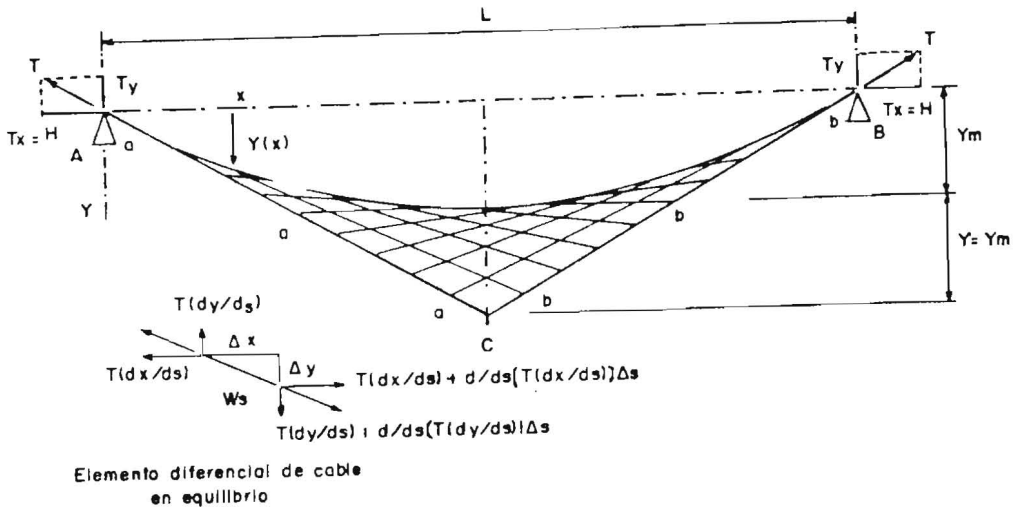


FIGURA 1. Dibujo de la línea elástica<sup>4</sup> o de la curva parabólica asumida por un cable aéreo que cuelga bajo la acción de su propio peso.

<sup>4</sup> La línea elástica se dibuja así: determinada la deflexión  $Y_m$  en  $L/2$ , ésta se extiende hacia abajo hasta el punto C. Luego las rectas formadas AC y CB, se dividen en partes iguales. Los puntos  $a_i - b_i$  ( $i=1$ ), de las rectas se unen en la forma mostrada en la figura 1, para obtener la curva parabólica, la cual es envolvente de todas las rectas  $a_i-b_i$  (Ernst, 1970).

La forma exacta de un cable aéreo que cuelga bajo la acción de su propio peso se conoce como catenaria, cuya solución fue dada en 1691 por un grupo de matemáticos encabezados por James Bernoulli, Leibnitz y Huygens. Fuss, citado por Irvine (1975), dedujo posteriormente las ecuaciones en coordenadas cartesianas para un elemento de cable sometido a la acción de cualquier carga.

Para determinar las relaciones matemáticas de un cable aéreo que cuelga bajo la acción de su propio peso, deben asumirse las siguientes hipótesis:

1. el cable metálico es considerado completamente flexible,
2. el peso del cable se distribuye a lo largo de la horizontal,
3. la sección transversal del cable es uniforme y está construida de un material de densidad uniforme que obedece a la ley de Hooke,
4. las expansiones y contracciones de la línea transversal del cable, asociadas con cambios de longitud en el mismo, se desprecian,
5. los extremos del cable se asumen totalmente anclados sobre soportes totalmente rígidos.

La Figura 1 muestra un elemento diferencial de longitud de cable en equilibrio perteneciente al cable aéreo. En esta porción de cable se puede apreciar la variación de tensión  $T$  en las direcciones horizontal  $X$  y vertical  $Y$ , respectivamente

De la sumatoria de fuerzas verticales resulta:

$$d/ds(T*dy/ds) = -w \quad (1)$$

La sumatoria de fuerzas horizontales da:

$$d/ds(T*dx/ds)ds = 0 \quad (2)$$

Al integrar la ecuación (2), se obtiene:

$$T dx/ds = cte = H \quad (3)$$

Con lo que se demuestra que la componente horizontal de la tensión es constante. En las anteriores ecuaciones se define:

- T = tensión axial en el cable, (ton),
- H = componente horizontal de la tensión del cable, (ton),
- w = peso del cable por unidad de longitud, (kg/m),
- $\delta x, \delta y, \delta s$  = diferencial de longitud del cable,
- $dy/ds$  = seno de ángulo de inclinación, (rad),
- $dx/ds$  = coseno del ángulo de inclinación, (rad).

Despejando T de (3) y reemplazando en (1), se obtiene:

$$H \cdot y'' = -w \cdot ds/dx \quad (4)$$

y con

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 \quad (5)$$

se obtiene:

$$H \cdot y'' = -w \cdot \{1 + y'\}^{(1/2)} \quad (6)$$

Donde  $y''$  es la ecuación diferencial de segundo orden  $dy/dx$ .

En la ecuación (6), cuando w es constante, la solución es la catenaria. En la ecuación (4), si  $(-w \cdot ds/dx)$  es constante, se obtiene, al integrar dos veces y considerar las condiciones de borde  $x = 0, y = 0$  y  $x = L, y = 0$ , la solución de la parábola es:

$$y(x) = -(w/2H)x^2 + (C1/H)x + C2 \quad (7)$$

Donde:  $C1 = wL/2$  y  $C2 = 0$

Que al reemplazar en (7), se obtiene finalmente:

$$y(x) = wL^2/2H \cdot \text{ABS}((x/L) - (x/L)^2) \quad (8)$$

La máxima deflexión del cable se halla haciendo  $x=L/2$  en (8),

$$Y_m = wL^2/8H \quad (9)$$

El valor de la tensión axial T del cable viene dada por:

$$T = H/(dx/ds) \quad (10)$$

La tensión T es máxima cuando el coseno del ángulo de inclinación es mínimo, o sea cuando la inclinación del cable es máxima, la cual debe estar adyacente a uno de los soportes del cable.

El ángulo de inclinación en cualquier elemento de cable, se calcula con la relación:

$$dx/dy = w/H(L/2 - x) \quad (11)$$

La mayor inclinación del cable se encuentra haciendo  $x=0$  en (11) y se obtiene:

$$\text{Tan}\beta = wL/2H \quad (12)$$

La tensión axial (Figura 1), en cada soporte del cable viene dada por la siguiente ecuación:

$$T = H/\cos\beta \quad (13)$$

Si el cable aéreo cuelga con soportes a diferente altura, las deflexiones y tensiones vienen dada por las siguientes relaciones: (Figura 2).

Deflexión máxima:

$$Y_m = wL^2/8H + \frac{1}{2}h \quad (14)$$

En el soporte superior:

$$T_1 = H/\cos\beta_1 \quad (15)$$

En el soporte inferior:

$$T_2 = H/\cos\beta_2 \quad (16)$$



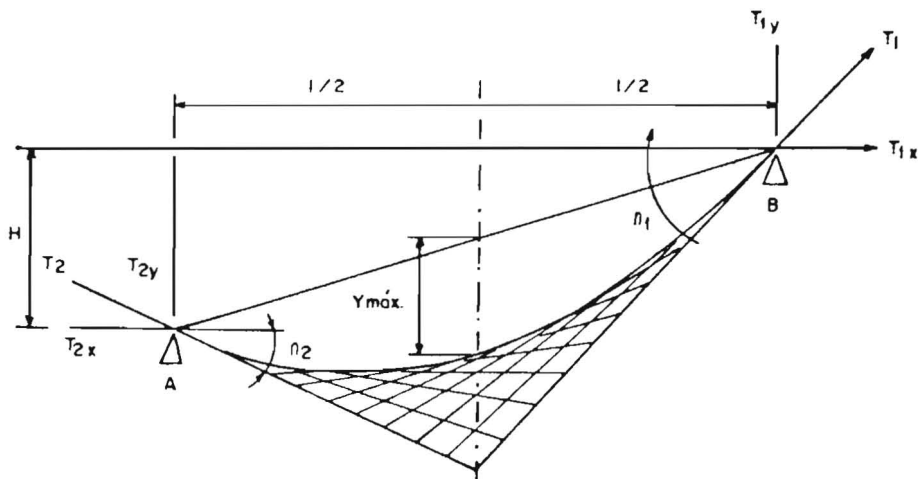


FIGURA 2. Deflexión de un cable que cuelga bajo la acción de su propio peso con soportes a diferente altura.

La longitud del cable aéreo descargado, se calcula con la ecuación:

$$L_c = (L^2 + h^2)^{1/2} \{1 + (8/3)K^2\} \quad (17)$$

Cuando se conoce la tensión horizontal T en un tramo inclinado, la longitud del cable Lc se computa con la relación:

$$L_c = (L^2 + h^2)^{1/2} + w^2 * L^3 * \text{Cos}^3(\alpha) / (24H^2) \quad (18)$$

Michalos y Birnstiel (1960) desarrollaron un método numérico para determinar, por medio de aproximaciones e iteraciones sucesivas, los desplazamientos de nodos prefijados en un cable aéreo anclado por sus extremos cuando

es sometido a un cambio de carga,  $P_i$ , sin importar su posición  $X_i$  en el cable. Para desarrollar este método, tuvieron en cuenta:

1. los desplazamientos en un cable aéreo debidos a cambios de carga son grandes, por tanto, el principio de superposición no es aplicable,
2. en el caso de cargas múltiples, de las soluciones individuales, no se puede obtener una solución general.

De lo anterior, dedujeron, que era necesario obtener los desplazamientos del cable aéreo en un análisis primario de esfuerzos mediante un método basado en las tres ecuaciones de equilibrio y relacionaron el polígono formado por COC1C2C3CO (Figura 3), con el diagrama de momento a cierta escala con la de una viga simple cargada con los pesos  $W_1$  y  $W_2$ , respectivamente.

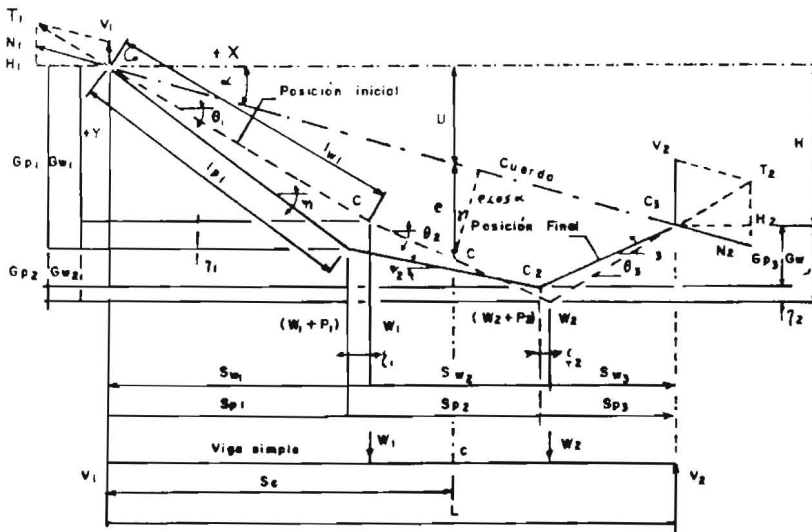


FIGURA 3. Cable aéreo con cargas concentradas  $W_i$  (iniciales) y  $P_i$  (finales) y su viga simple correspondiente.

En la Figura 3, al conocerse la posición  $xy$  del cable en cualquier punto y con base a las tres ecuaciones de equilibrio, se deduce la siguiente ecuación:

$$HW = Mc/E \quad (19)$$

Donde:

$HW$  = la componente horizontal de la tensión,  $t$ ,

$Mc$  = momento flector en la viga en el punto  $C$ , debido a las cargas  $W1$  y  $W2$ , respectivamente,  $t\cdot m$ ,

$e$  = distancia vertical medida desde el punto  $C$  y la cuerda  $COC3$ .

En la Figura 3, si las cargas  $Pi$  (consideradas cargas vivas), son añadidas a las iniciales  $Wi$  (consideradas cargas muertas), el cable adquiere una posible geometría, representada con la línea llena. Se sabe, que los desplazamientos de los puntos  $C1$  y  $C2$ , está relacionada con la forma del polígono de equilibrio, más el cambio elástico en longitud del cable; además, las magnitudes de dichos desplazamientos, dependen de la relación de entre cargas iniciales y finales, la deflexión inicial del cable y de las propiedades mecánicas y físicas del cable.

Como la tensión horizontal final  $HP$ (cuerpo en equilibrio), es función del nuevo polígono formado, el cual es a la vez función de  $H_p$ , no es posible determinar la geometría de la forma que adquiere el cable en condiciones finales por medio de las tres ecuaciones de equilibrio.

El método numérico propuesto por Michalos y Birnstiel (1960) para calcular los desplazamientos de un cable aéreo con cambios de carga, consiste en asumir un valor arbitrario de tensión horizontal  $H_p$  y por medio de cálculos e iteraciones sucesivas, encontrar las condiciones de equilibrio en los soportes, esto es, la sumatoria de momentos con respecto a uno de los soportes, sea cero y los desplazamientos horizontal y vertical del extremo derecho del cable, conocida con el soporte o posición original del cable.

Si no se consigue el objetivo con el valor de  $H_{pi}$  asumido, es calculado un nuevo valor de  $H_p (i+1)$  y con base a la relación lineal de las tensiones y los desplazamientos, se calcula un valor de tensión horizontal  $H_{pn}$  más cercano al estado de equilibrio del cable aéreo.

## MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó entre los años 1989-1991, en predios del Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE-, en Chinchiná (Caldas).

Para construir el transportador mecánico se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

1. dos cables metálicos, el portante y el tractor,
2. elementos de transmisión de potencia, de construcción metalmecánica, eléctricos y de construcción civil,
3. equipos de taller de máquinas y herramientas,
4. equipos de montaje.

Concertada la idea de que el transportador tipo cable aéreo gravitacional, podría adaptarse a las condiciones topográficas de la zona cafetera y considerando que la diferencia de altura entre la tolva húmeda para el recibo del café cereza (parte alta del beneficiadero) y los cultivos de las variedades de café existentes en CENICAFE (parte baja) era suficiente para permitir el descenso de la vagoneta vacía, además que dicha zona era representativa, en parte a cualquier finca cafetera Colombiana, se procedió a establecer y fijar los puntos de cargue y descargue del café cereza respectivos. La localización de la instalación para el sistema del transportador mecánico tuvo el esquema general que se muestra en la Figura 4.

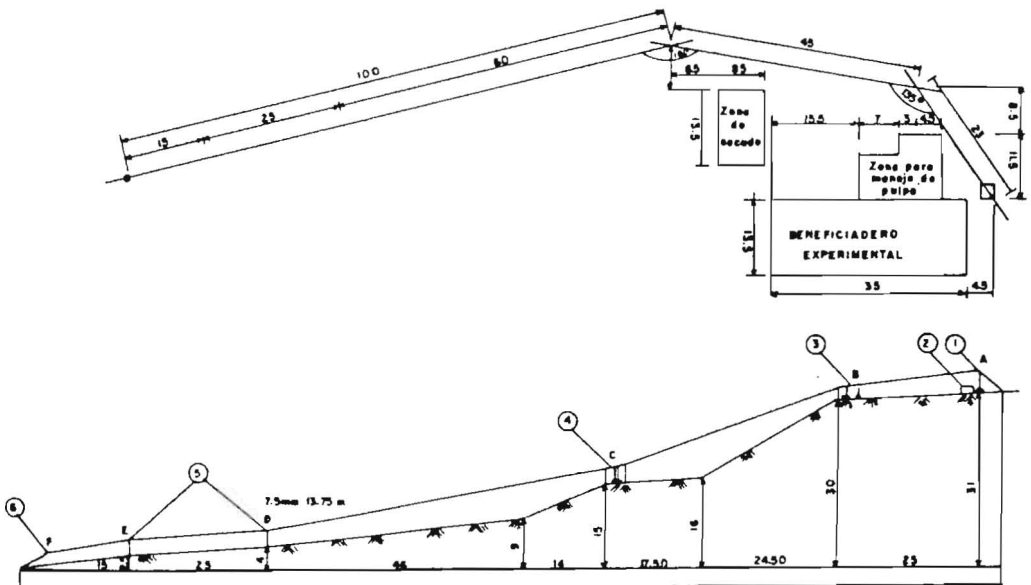


FIGURA 4. Localización de la instalación para el transportador mecánico.

Diseño y construcción de un transportador..

La utilización de tres tramos de cables en direcciones diferentes, hizo que en cada uno de ellos se utilizara la longitud de cable correspondiente, con sus respectivos anclajes. La Figura 4 muestra, además, una distribución de los apoyos o torres empleadas para mantener el cable aéreo levantado por encima del terreno. Para darle continuidad en su recorrido a la instalación, se dispuso en cada cambio de dirección del cable aéreo una viga curva, la cual se apoya por sus extremos mediante torres intermedias.

Con el programa de computador " TORRE.BAS ", se diseñó el cuerpo principal de la torre intermedia según la teoría estructural, la teoría de falla con el criterio de la máxima energía de distorsión y también se calcularon los desplazamientos de la estructura.

Para el cálculo de las tensiones en el cable portante, fue programado el método numérico propuesto por Michalos y Birnstiel (1960). El programa denominado " CABLE.BAS ", fue empleado en los tres tramos.

Una vez dada la geometría de la instalación, altura de los apoyos y distancia entre los mismos, anclajes, etc., y con base a las tensiones computadas, se dimensionaron todos los elementos principales y secundarios.

Los elementos de fijación de los apoyos para el cable aéreo (torres intermedias y terminales), tales como zapatas y anclajes, fueron de igual modo calculados y dimensionados con base a las cargas computadas que actúan sobre los elementos.

El diseño mecánico consistió en elegir el tipo de unidad de fuerza motriz, tipo de transmisión de potencia y posteriormente, el cálculo de cargas sobre los elementos para proceder a su dimensionamiento, trazado y mecanizado de cada uno de ellos; también fueron calculadas y seleccionadas partes de la unidad de fuerza motriz del tipo comercial.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Para la obtención de las tensiones en el cable aéreo, fue utilizado un factor de seguridad de 3.5; un módulo de elasticidad para el cable metálico de  $9.5 \text{ kg. m}^{-2}$  y un peso total a transportar de 300 kg.

Aunque los tramos I, II y III analizados, tienen diferente geometría, se le dio a cada uno deflexiones iniciales de montaje de  $2.1 \times 10^{-2} \text{ m}$  y  $12.5 \times 10^{-2} \text{ m}$ , respectivamente.

Se seleccionó un cable metálico de diámetro 15.585 mm ( $5/8"$ ), cuya máxima tensión de trabajo es de  $4.6 \times 10^5 \text{ kg}$ .

Con base a la deflexión inicial dada a cada tramo, el peso a transportar, el peso por unidad de longitud del cable y la geometría del tramo, se obtuvo una máxima tensión de igual magnitud en cada tramo de  $4.55 \times 10^5 \text{ kg}$ .

La deflexión del cable aéreo con el peso ubicado en el centro fue de 0.41 m; 0.63 m y 0.96 m para los tramos I, II y III respectivamente.

El cuerpo principal de las torres terminales se construyó con ángulos de  $3/16 \times 2''$ , formando una sección en cajón de  $20 \times 10^{-2} \text{ m} \times 20 \times 10^{-2} \text{ m}$ . Para la torre terminal I, se seleccionó este mismo tipo de ángulo formando una sección de  $28 \times 10^{-2} \times 28 \times 10^{-2} \text{ m}$ . Para las torres intermedias y de apoyo se usaron ángulos de  $1/4 \times 1 \frac{1}{2}''$ , formando una sección en cajón de  $20 \times 10^{-2} \times 20 \times 10^{-2} \text{ m}$ .

Se calcularon también las deflexiones en los extremos libres de las torres. Esta presentó una deformación máxima en el eje vertical de  $1.9 \times 10^{-2} \text{ m}$ . Los factores de seguridad obtenidos por las teorías de fatiga se encuentran comprendidos entre 1.6 y 1.8.

Con base en los criterios de diseño de zapatas de hormigón armado, se obtuvieron bases para las torres intermedias y terminales. Se utilizaron zapatas de  $1.2 \times 0.6 \times 0.5 \text{ m}$  para las torres intermedias y apoyos.

Para las torres terminales se utilizaron zapatas de  $1 \times 1 \times 1 \text{ m}$  para contrarrestar el volteo producido por la carga horizontal que actúa en la parte superior de las mismas.

Los elementos de máquina destinados a la unidad de fuerza motriz, cumplieron las especificaciones de ajustes, tolerancias, holgura y acabado.

Los ensayos preliminares de la unidad de fuerza motriz, se hicieron con la vagoneta vacía, mostrando un buen desempeño en su funcionamiento. Posteriormente y bajo carga, el sistema se comportó adecuadamente.

El freno de parada mantuvo sin dificultad la vagoneta vacía en el tramo II, que es el de mayor pendiente; de igual manera, el freno de zapatas interiores operó una hora y no presentó calentamiento.

El sistema de guiado para cable tractor localizado en las vigas curvas de la estación de ángulo I, presentó dificultades en su desempeño.

De acuerdo con Baumeister y Marks (1967), Beer y Jhonston (1979), Ernst (1970), y Targhetta y López (1970), la utilización de la ecuación de la parábola para el análisis estático de un cable aéreo, se emplea cuando éste permanece lo suficientemente tenso, de tal manera, que la relación entre la deflexión del cable en el centro y la distancia entre los soportes, sea menor al 5 %.

Con la utilización del método numérico para la determinación de las tensiones en el cable aéreo y con base en los resultados dados por Michalos y Birnstiel (1960), se infiere que se puede ampliar el método, utilizando la

ecuación de la parábola, para instalaciones de cables aéreos, cuya relación de la deflexión y la distancia entre los soportes, sea del 10 %.

La infraestructura construida para el transportador mecánico de café cereza no presentó problemas en su comportamiento. El diseño utilizado para el guiado del cable tractor en las vigas curvas, debido a la disposición de sus partes, presentó fallas en su desempeño, al presentarse eventualmente descarrilamiento del cable de tracción.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la implementación del programa de computador para determinar tensiones, desplazamientos y reacciones en un cable aéreo sometido a la acción de una o varias cargas, se obtuvieron datos confiables para seleccionar los elementos y construir el transportador propuesto.

Se recomienda:

1. Ubicar los sitios de cargue y descargue en línea recta para reducir costos al no utilizar elementos que guíen el cable tractor y estaciones de ángulo que encaucen la vagoneta de un tramo a otro.
2. Realizar diseños en los cuales las bases de las torres terminales sean articuladas, ya que esto incide en un menor tamaño de éstas, debido a que no se transmite momento flector a la base de la columna.
3. Es necesario conocer el valor numérico de la capacidad portante del terreno, ya que influye significativamente en la dimensión de las bases para las torres del cable aéreo.

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro Nacional de Investigaciones de Café "CENICAFE" por la financiación en su totalidad de este trabajo. Al Doctor Gonzalo Roa Mejía, I.E.M., M.Sc., Ph.D. Coordinador del programa Post-cosecha de CENICAFE, por su constante interés y colaboración durante la ejecución de este proyecto. A todo el personal de Investigadores adscritos a la disciplina de Ingeniería Agrícola y al personal que conforma el taller de máquinas y herramientas de CENICAFE.

## BIBLIOGRAFIA

- ANAYA, H.G. and CHRISTIANSEN, P. Aprovechamiento forestal: análisis de apeo y transporte. San José Costa Rica: IICA, 1986. p. 7-32.
- BAUMEISTER, T. and MARKS, L. Standar handbook for mechanical engineers. 7ed. New York: McGraw-Hill, 1967. p. 29.

- BEER, F. and JOHNSTON, E. *Mecánica Vectorial para Ingenieros : estática*. 3ed. Bogotá: Carvajal, 1979. 448 p.
- ERNST, H. *Aparatos de elevación y transporte: principios y elementos constructivos*. Madrid: Blume, 1970. v.1, 338 p.
- \_\_\_\_\_. *Aparatos especiales*. Madrid: Blume, 1970. v.3, p. 171-216.
- GONZALEZ, H. *Transporte forestal con cables aéreos de gravedad*. Medellín: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia, 1974. 25 p.
- IRVINE, H.M. *Static of suspended cables*. *En: Journal of Engineering Mechanics*. Vol. 2 (jun.1975); p. 187-205.
- MICHALOS, J. and BIRNSTIEL, Ch. *Movements of a cable due to changes in Loading*. *En: Journal of Structural Engineering*. Vol. 86 (dec. 1960); p. 23-37.
- NOVITSKY, A. *Transporte y extracción en minas y a cielo abierto*. Buenos Aires: Universitaria, 1966. p. 255-309.
- PATINO V, F. *Diseño y construcción de un transportador mecánico de café cereza por cable aéreo*. Cali, 1985. 915 p. Tesis (Ingeniero Mecánico). Universidad del Valle.
- SHIGLEY, J.E and MITCHELL, L.D. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. 4ed. México: McGraw-Hill, 1985. 915 p.
- SOTO, M. *Bananos: cultivo y comercialización*. Costa Rica: s.n., 1985. 610 p.
- TARGHETTA, A. and LOPEZ, R. *Transporte y almacenamiento de materias primas en la industria básica*. Madrid: Blume, 1970. v.1, p. 529-609.
- WILLIAMSON, M. and WILLIAMSON, G. *Transportes industriales: medios e instalaciones para la excavación, remoción y transporte de materiales a granel o de cargas en bultos sueltos*. 2ed. Barcelona: Reverté, 1950. 560 p.