# Rendimiento de un sistema de cable en relación a la intensidad del régimen silvícola

Martín Alfonso Mendoza Briseño[1]

**RESUMEN**

La máquina más común en México para arrime de trocería es la motogrúa. Este trabajo describe sus partes, funciones y sistema de trabajo. Usando datos de tiempos y movimientos de 334 ciclos de trabajo en condiciones de monte de coníferas en tercer paso de corta en Michoacán, México, se ajustaron ecuaciones de regresión para el tiempo de trabajo por fase del ciclo en función de la carga, arbolado residual, distancia de arrime y variables topográficas. El conjunto de estas funciones permite estimar el desempeño de la motogrúa tanto para propósitos de eficiencia industrial, como para eficacia en la aplicación de variados tratamientos silvícolas. Los resultados confirman la alta productividad de esta forma de arrime, lo mismo que sus deficiencias en cuanto al considerable daño al rodal residual y la necesidad de una cantidad enorme de brechas de saca que mantengan la distancia media de arrime a menos de 70 m, a pesar de tener un alcance máximo potencial de 400 m.

PALABRAS CLAVE:
Motogrúa, tiempos y movimientos, arrime, corta selectiva, Michoacán.

**ABSTRACT**

The most common yarding machine in Mexico is the jammer. This paper describes its parts, functioning and operation. Using time and movement data from 334 work cycles in a third entry coniferous forest in Michoacan, Mexico, regression equations were fitted to express the duration of each phase in a work cycle as a function of payload, residual stocking, yarding distance and topography. This set of equations allows the jammer's performance to be estimated in terms of efficiency, both industrial and for the application of silvicultural treatments. Results provide evidence of this yarding system's high productivity, and confirm its known drawbacks: high residual stand damage and high road construction requirements to keep average yarding distance under 70 m, despite its potential maximum distance of 400 m.

KEY WORDS:
Jammer, efficiency, yarding, selective cut, Michoacán.

1 Profesor Investigador Adjunto. Colegio de Posgraduados. Campus Veracruz. Apdo. Postal 421. 91700 Veracruz, Ver.
Manuscrito recibido para su publicación el 6 de Junio de 1995

## INTRODUCCION

La motogrúa (Fig. 1 y 2) ha sido la máquina más comúnmente usada en México para mover trocería del punto de apeo al de carga, para su posterior transporte al centro de procesamiento. El modelo actualmente en uso es el resultado de adaptaciones menores sobre un diseño de origen norteamericano, el cual es aún popular en la región del noroeste interior y es conocido como **Idaho jammer**.

Es aceptado que la motogrúa es una máquina de muy alta productividad en la labor de arrime de trocería en matarrasa, siempre y cuando las distancias de arrime sean cortas, preferentemente debajo de los 300 m (Conway, 1976; FAO, 1978; Simmons, 1979; Studier y Binkley, 1974; Anaya, 1975). Por otra parte, se sabe que la motogrúa, por permitir que la trocería arrastre sobre el suelo y por el poco control sobre la trayectoria de la carga, es un sistema impropio de cortas parciales (Studier *et al*., 1983; Conway, 1976). Sin embargo, en México la motogrúa ha sido exitosamente utilizada en cortas parciales en bosques recién abiertos a la dasonomía.

Ante la creciente urgencia por utilizar regímenes silvícolas más sofisticados, principalmente de bosque regular, la cuestión de si la motogrúa es aún un sistema efectivo desde el punto de vista industrial y adecuado silvícolamente, se convierte en una interrogante digna de investigación.

Este escrito presenta un estudio de las relaciones entre cada una de las fases del ciclo de trabajo de la motogrúa respecto a características de la carga, del arbolado, del terreno y de la distancia de arrime. Se pretende con ello ayudar a dilucidar la cuestión de la eficiencia industrial y silvícola de la motogrúa.

Adicionalmente, el estudio de esta máquina es un esfuerzo más en la búsqueda de patrones generales de comportamiento de los procesos que componen la labor de cosecha de la madera y la ejecución de tratamientos silvícolas. Relativo a otras áreas de la dasonomía, la literatura del ramo de madereo es, además de escasa, irregular en la atención a los aspectos descriptivos del tema, por ello es conveniente presentar la descripción de la motogrúa y de su modo de trabajo, antes de tratar el tema central de estudio.

## METODO

### Descripción de la máquina

La motogrúa es una máquina montada sobre la plataforma de un camión corto y constituida por una fuente de fuerza que generalmente es un motor de gasolina para camión (Fig. 3). Algunos modelos no tienen motor propio, sino una toma de fuerza con embrague que parte del eje principal bajo la plataforma del camión (flecha). El motor envía su fuerza a un embrague y a una caja de velocidades convencional. De allí, por medio de cadenas (Fig. 4), se transmite el movimiento a uno o dos cabrestantes de cable acero (carretes o tambores). Cada uno de los carretes tiene su propio sistema rudimentario de embrague y frenos (Fig. 5 y 6). El cable de tracción o cable principal suele ser un cable de 16 mm a 19 mm de 7 cabos en un arreglo 6x19 Seale (SARH, 1980). El segundo cable, llamado riendilla o de retorno, es opcional; en caso de usarse, se trata normalmente de un cable de 12 mm, siendo 400 m el largo usual. Al salir de sus bobinas, los cables suben hasta las poleas en la punta de una pluma inclinada cuya longitud varía de 5.5 a 7.3 m; con una altura neta de aproximadamente



Figura 1. Vista frontal de la motogrúa con el pie inmovilizado a la máquina



Figura 2. Vista lateral de la motogrúa

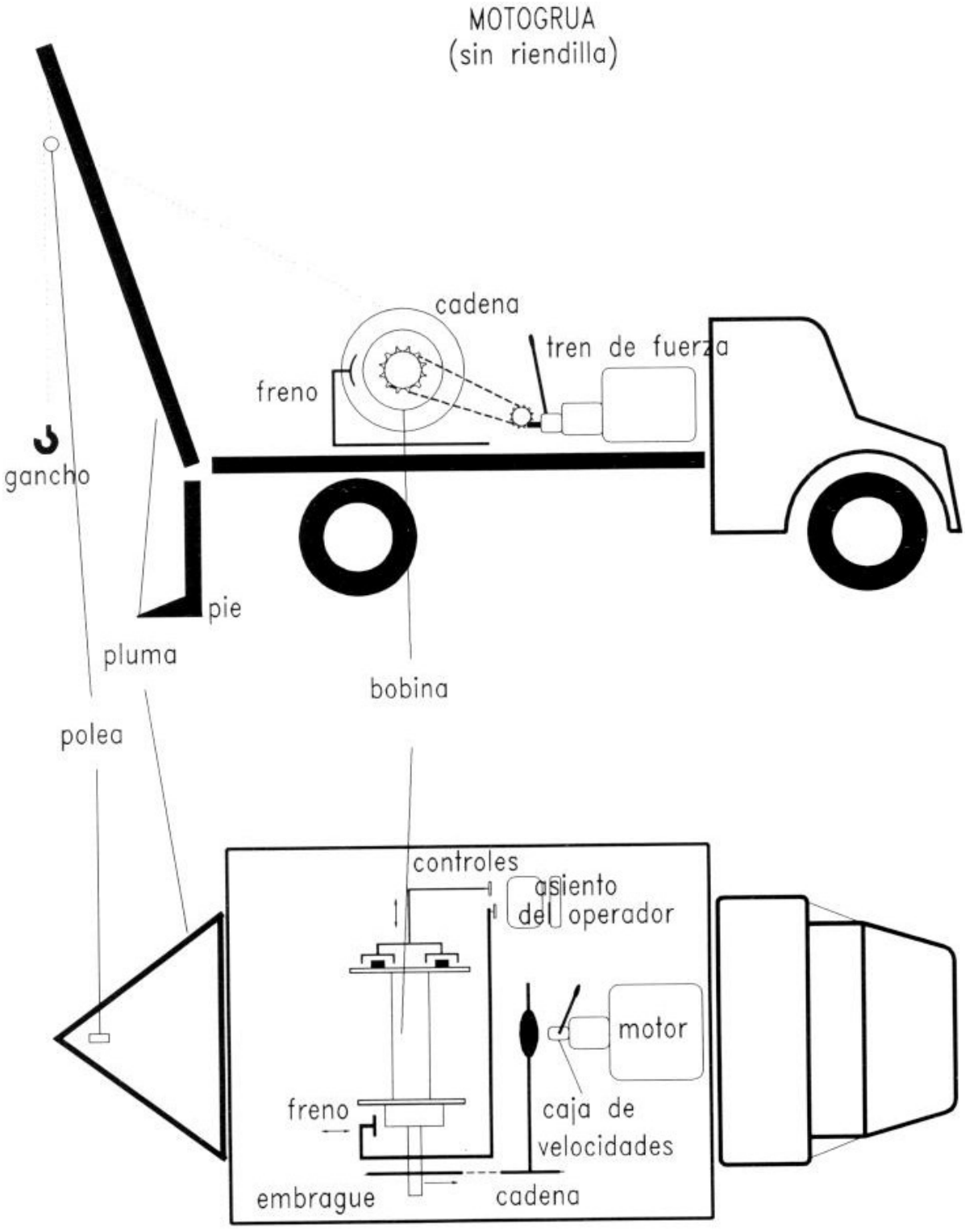



Figura 3. Diagrama en planta y transversal de una motogrúa sin riendilla



Figura 4. Arreglo de las partes de la motogrúa

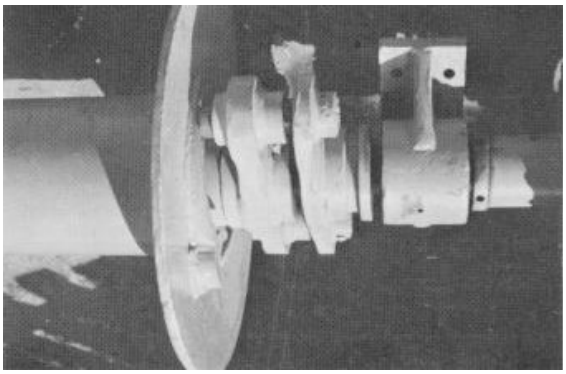


Figura 5. Acercamiento del dispositivo de embrague de cabrestante

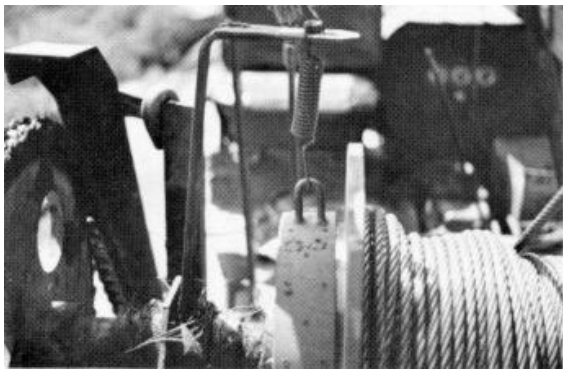


Figura 6. Acercamiento del dispositivo de freno de cabrestante

5.5 m sobre el nivel del suelo. Las motogrúas en uso en el estado de Michoacán no emplean riendilla y el cable principal termina en un nudo que sujeta a un gancho giratorio (Fig. 7), el cual vuelve sobre sí mismo para sujetar la carga. En otras situaciones, el cable principal termina en un anillo del que penden uno o más estrobos, o bien una cadena de cuyos eslabones se sujetan varios estrobos. En caso de emplearse riendilla, ésta va sujeta al anillo, a la cadena de estrobos o bien a una polea por la cual se mueve libremente el cable de tracción. Otro dispositivo de sujeción también característico de la motogrúa, es una tenaza que cierra al tensar el cable principal por el esfuerzo del arrastre.

La motogrúa se utiliza ampliamente en los estados de Michoacán y Durango y en menor escala en Chihuahua, Oaxaca y Estado de México.

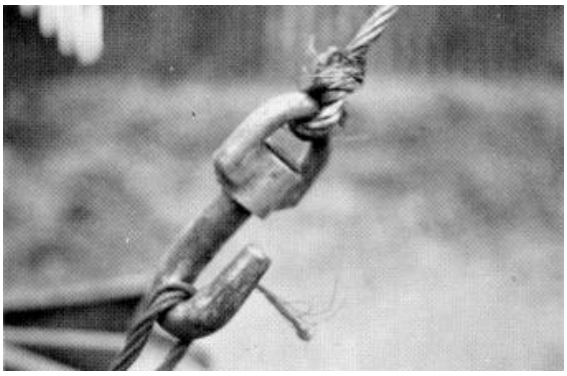


Figura 7. Gancho para sujetar la carga

**Modo de trabajo**

A continuación, se describe el procedimiento de trabajo usado en Michoacán, que consiste en la ejecución simultánea de las labores de derribo, arrime, troceo, apilado y recepción. Para el efecto se opera con una cuadrilla de 8 trabajadores, que ocasionalmente puede reducirse a 7 o incluso 6 miembros. Dos motosierristas inician las labores del día derribando entre 10 y 20 árboles, material que es suficiente para mantener ocupados a los trabajadores de las operaciones subsecuentes por lo menos durante media jornada. Esta labor toma una hora o menos. A partir de este momento, al menos uno de los motosierristas abandona el derribo para atender la operación de troceo, la cual ocurre en el cargadero junto a la grúa.

En principio el sistema de arrime es un sistema de fuste completo, pero considerando que las alturas de los árboles a cortar suelen rebasar los 30 m, es común que el impacto de la caída rompa el fuste a la altura de las ramas intermedias de la copa. También, en terrenos irregulares es usual el rompimiento del fuste en algún punto dentro del fuste limpio, o su caída en posiciones difíciles. En estos casos, el motosierrista mide y corta suficientes piezas para hacer ágil la labor de arrime.

A partir de la acumulación de un inventario suficiente de material previamente derribado se inicia la operación de la motogrúa. Un solo trabajador opera la máquina mediante controles encima de la plataforma del camión y junto al motor de la grúa.

La primera actividad consiste en colocar a la máquina en posición, lo cual requiere de un conductor de camión, además del operador. A una señal del operador, el conductor detiene el camión de forma que la polea principal en la punta de la pluma quede exactamente encima del centro del camino y en posición perpendicular al carril de arrime pretendido. Acto seguido, el conductor pone en reversa al camión al tiempo que el operador acciona el liberador de un pie, que al caer inmoviliza la grúa.

El mecanismo automático que mantiene vertical al pie es inoperante cuando la grúa esta orientada cuesta abajo. Cuando se da el caso, se hace pasar el cable principal por una polea sujeta a la parte trasera de la plataforma del camión. El gancho al extremo del cable se sujeta a algún árbol en dirección recta respecto de la pluma. Al accionar el motor enrollando el cable principal se fuerza la entrada de un perno que inmoviliza al pie.

Es importante hacer notar que la posición de operación de la motogrúa es en el centro del camino. La polea en la punta de la pluma queda encima de la carpeta de rodamiento y es allí, a medio camino en donde se depositan las trozas arrimadas, obstruyendo la circulación de vehículos. Por ello las actividades de cosecha han de proceder en forma unidireccional, desde los extremos terminales de las brecha de saca, hacia afuera. Consecuentemente, las operaciones de carga inician semanas después cuando la motogrúa ha concluido el arrime de al menos una brecha completa y proceden de la entrada del rodal o de la intersección del camino principal hacia el interior. Otra peculiaridad del sistema de motogrúa, es por la posición de la máquina en el camino, lo que hace innecesaria la construcción de plataformas para cargaderos, como se tiene en otros sistemas de cable.

El paso siguiente en la labor de montaje es que los tres obreros que operan los cables de la grúa (gancheros), coloquen de uno a tres cables de anclaje (vientos o gallos), los cuales han de conectar el extremo superior de la pluma con árboles de gran tamaño en el lado del camino opuesto al carril de arrime pretendido. El número y posición de cables de anclaje es función de la dirección del esfuerzo de arrime. Cuando el esfuerzo es ligero se suele obviar el proceso de anclaje. Al concluir estas maniobras la grúa queda lista para iniciar operaciones. Cabe comentar que el proceso de desmontaje es idéntico, pero en sentido inverso al proceso de montaje descrito.

En el traslado de la máquina a otra ubicación usa su propia fuerza motriz. En cambios de un carril al carril contiguo la distancia que puede ser entre 10 y 100 m, no influye en la duración del viaje. La razón es que un ganchero debe seguir a pie a la máquina para asegurarse que los cables de anclaje, que no poseen un cabrestante donde enrollarse, no quedarán atorados en obstáculos en el camino o en la vegetación.

El ciclo de arrime propiamente dicho, inicia cuando un ganchero, en forma manual, lleva el gancho del extremo del cable principal hasta el punto en que yace la pieza a arrimar (Fig. 8). Llegando al punto en cuestión, el ganchero pasa el gancho por debajo de la pieza, en su extremo más inmediato y lo asegura firmemente contra el cable principal. Al terminar esta operación el ganchero da una señal al operador quien enciende el motor de la grúa y procede a enrollar el cable.



Figura 8. Inicio manual de un ciclo de trabajo

Es importante hacer notar que la pieza arrastra sobre el suelo todo el camino, excepto cuando cerca de la máquina la altura de la pluma permite que sólo arrastre la parte posterior. Adicionalmente, la trayectoria del sendero de arrastre es la de mínimo esfuerzo, dado el peso de la carga, el ángulo entre el camino y el cable principal y la topografía del terreno; en general, se trata de una curva que es convexa respecto a la recta entre la grúa y el lugar de apeo del árbol; o sea que cada pieza tiene un sendero propio, siendo verdaderamente excepcional que dos piezas sigan la misma trayectoria. Por estos detalles, todo obstáculo en los numerosos senderos que confluyen en la posición de la grúa en el camino, quedan totalmente arrasados de vegetación, piedras y suelo (Fig. 9 y 10), ello a costa de constantes suspensiones del trabajo porque la carga se atora.

Al llegar la pieza al camino (Fig. 11), si su longitud es menor de 9 m, el operador hace que quede suspendida en el aire y la hace girar a través de movimientos bruscos de enrollar y desenrollar el cable principal. Cuando la pieza está en la posición apropiada, el operador la deposita a lo largo del camino, encima de trozas previamente arrimadas.



Figura 9. Aspecto usual de un carril después del aprovechamiento



Figura 10. Aspecto de un carril dañado durante el aprovechamiento y apilamiento del material de desecho



Figura 11. Arribo de la trocería al camino

Para trocería de más de 9 m, el procedimiento de colocación es más elaborado. Si la posición de llegada es favorable, se desata el gancho y se vuelve a colocar en la parte posterior a tres cuartos de su longitud. El operador enrolla el cable principal y debido a la posición del gancho, la punta anterior de la pieza generalmente gira en la dirección del camino opuesta a la grúa, con la cual queda lista para la siguiente operación.

Cuando la posición de llegada de la pieza es desfavorable o cuando los intentos de colocarla sobre el camino han fracasado, se cortan una o más trozas, reduciendo la longitud total de la pieza a una dimensión manejable, se reacomoda la posición del gancho sobre la pieza y se intenta colocarla a lo largo del camino mediante sacudidas creadas por súbitas acciones de enrollar y desenrollar al cable principal.

Al depositarse la pieza arrimada sobre el camino, un trabajador especializado procede a medirla de acuerdo con las especificaciones y dimensiones de los productos deseados. En el caso estudiado se tienen dos productos, que son trozas de pino de 25 cm o más de diámetro menor por 3 m de largo, sin defectos y trozas de 2.5 m de largo y al menos 15 cm de diámetro menor, de encino o de pino defectuoso. Naturalmente, el primero es el producto preferencial y se miden los fustes para optimizar su producción a costa de la producción del segundo tipo de trocería. Una vez marcadas las trozas de una pieza, uno o dos motosierristas la trocean, simultáneamente el ganchero inicia el siguiente ciclo de arrime. Mientras se está realizando el troceo, un trabajador adicional registra los diámetros y la clase de calidad de cada troza para efectos de control administrativo, operación conocida como recepción.

Durante las operaciones anteriores pueden ocurrir diversas demoras, la más común de las cuales se da en el arrime y se debe a que los carriles no se limpian con anterioridad y por ello la carga se atora en vegetación residual o se provoca que el gancho se suelte. Otras demoras ocurren por averías en el equipo, principalmente roturas del cable y problemas del motor de la grúa. El cable se rompe cerca de la punta porque el gancho lo muerde al sujetar las piezas, así que este incidente es crónico y serio, pues la longitud total de cable disminuye periódicamente.

Se tienen programados dos tiempos muertos diarios durante los que los trabajadores toman sus alimentos. Tiempos perdidos por descanso de los trabajadores son relativamente raros y mas aún los que duran arriba de 5 minutos. Una vez por semana se detiene el trabajo media hora para cargar gasolina y agregar aceite al motor. El mantenimiento menor de la máquina, que incluye aspectos como agregar agua al radiador, engrasar partes móviles, ajustar el freno de la bobina y otras funciones, ocurre en los momentos del ciclo de trabajo en que la máquina está inactiva, aunque ocasionalmente duran lo suficiente como para retrasar la labor conjunta.

Un tipo adicional de demora consiste en tiempo perdido por falta de pericia de los trabajadores y por errores en los procedimientos de trabajo. Es común que los trabajadores intercambien puestos, entre otras cosas para reducir el tedio producido por la monotonía del ritmo de trabajo; también lo hacen para capacitarse y poder sustituirse mutuamente. Pero los cambios de posición generan una mayor probabilidad de errores, especialmente cuando se trata del operador de grúa.

En adición a las operaciones propias de la labor de arrime, la motogrúa realiza ocasionalmente una serie de trabajos de otra naturaleza. Uno de estos trabajos consiste en reacomodar la trocería antes de desmontar y moverse a un sitio nuevo (apilado). También se usa la motogrúa para forzar la caída de ciertos árboles problemáticos en una dirección favorable al arrime y para liberar motosierras atrapadas por árboles con caída natural contraria. La motogrúa se ha llegado a usar para la labor de carga de camiones de transporte, sólo

excepcionalmente, pues la máquina usual para el caso es una grúa de brazo y tenazas hidráulicas montada en la plataforma de un camión corto, máquina que es mucho más eficiente que la motogrúa para esta labor.

El modo de trabajo descrito permite adoptar una clasificación del tiempo semejante a la propuesta por Haarlaa (1981). Las categorías incluidas son:

* Tiempo nominal. Estancia de los trabajadores en el lugar y durante el cual se espera desempeñen su tarea.
* Tiempo muerto. Lapso en que no se realizan actividades de ninguna clase por parte de los trabajadores observados.
* Tiempo efectivo de trabajo. Tiempo nominal menos tiempos muertos programados (v.gr. comidas, descansos regulares, mantenimiento regular del equipo por especialistas).
* Demora. Tiempo de trabajo perdido por contingencias.
* Tiempo neto de trabajo. Tiempo efectivo menos demoras.
* Tiempo de máquina disponible. Tiempo nominal menos lapsos en que la máquina está fuera de operación.
* Tiempo de funcionamiento. Tiempo durante el cual el motor de la grúa está encendido, sea que esté realizando trabajo o no.
* Tiempo productivo. Tiempo disponible durante el cual la máquina está realizando una labor que es esencial a la productividad del sistema, p. ej. cuando está arrastrando trocería.
* Tiempo de montaje. Duración de labores necesarias para poner la máquina en posición y condición para el trabajo productivo.
* Tiempo de desmontaje. Duración de labores al concluir el arrime del material disponible en un carril, para dejar la motogrúa lista para su traslado a la siguiente posición.
* Tiempo de traslado. tiempo durante el que la máquina está en tránsito entre posiciones sucesivas o para llegar o salir del área de aprovechamiento.
* Turno. Tiempo efectivo entre salidas de cable de dos arrimes sucesivos.

## LITERATURA

El interés práctico que tienen los estudios de rendimiento de labores de madereo, dentro de la planificación de operaciones de abastecimiento, es uno de los principales motivadores que han fomentado el desarrollo de modelos matemáticos de simulación para estas labores. Otro motivo que ha favorecido que los estudios de rendimiento culminen en el desarrollo de modelos es el interés académico por encontrar patrones generales dentro de una actividad fuertemente influenciada por factores aleatorios (Conway, 1976).

Los modelos actualmente disponibles para la labor de arrime incluyen Johnson (1983), Studier y Binkley (1974), Stevens (1966), Sessions (1979), Seifert (1982), Perkins (1967), Samset (1981), Goulet *et al*. (1978), FAO (1978), Studier *et al*. (1983). Estos modelos tienen como tema diversos sistemas de cable aéreo y tractores, tanto articulados, como de oruga. Es usual en la literatura del ramo, presentar a las ecuaciones constitutivas de cada modelo sin mostrar estadísticas de ajuste ni sobre la variabilidad del proceso del modelo, pero las discusiones tienen en común comentar que existe una porción considerable de variación en las labores de abastecimiento que no ha sido explicada con los procedimientos de estudio actualmente usados. La porción de variación para la que se han encontrado relaciones comúnmente se asocia con la máquina utilizada, la pendiente, la distancia del viaje y con el peso de la carga.

Otra peculiaridad de dos modelos publicados es su estructura. Muchos de ellos se forman a partir de un agregado de submodelos que representan funciones individuales dentro de un ciclo de trabajo. Las funciones consideradas en el caso de los sistemas de cable suelen ser: salida del dispositivo de carga (carro grúa u otro), amarre de la carga, arrime y descarga. La suma de tiempos parciales da el tiempo neto de trabajo, al que se multiplica por constantes para dar tiempo efectivo y tiempo nominal de trabajo.

## PROCEDIMIENTO

**Selección de caso**: En el estado de Michoacán existen aproximadamente 100 motogrúas, la mayoría con especificaciones homogéneas ya que son únicamente dos los fabricantes de la región. En caso de este estudio, es una de las tres máquinas usadas por el Ejido Varaloso, del Municipio de Coalcomán. Su selección obedece a que se trata de sistemas sensiblemente semejantes a los usados en el resto del estado, con la ventaja adicional de una larga experiencia operativa, tanto de los trabajadores como de los supervisores. El personal clave en la operación del sistema ha trabajado en las labores de arrime por más de 7 años usando este tipo de máquina y operando en este mismo bosque. Por lo tanto, es posible suponer que el rendimiento en condiciones experimentales será estable.

De entre las motogrúas del Ejido Varaloso se seleccionó al azar a la máquina y equipo de trabajadores a observar. Como medida de referencia también se midieron algunos ciclos de trabajo con otros trabajadores y con una otra motogrúa. Dos operadores, además del operador permanente de la grúa observada, realizaron una fracción pequeña de los ciclos de arrime observados.

Las áreas donde la grúa observada operó están constituidas por diversos rodales de tercer paso de corta de un bosque templado de pino y encino. Las especies dominantes incluyen *Pinus herrerai, P. michoacana* y otros. La densidad media es alta, promediando $18.63 \pm 6.06$ $m^2$/ha de área basal en los diversos rodales observados. El porte de los árboles es grande y el sotobosque es muy abundante, especialmente los arbustos.

Los tratamientos aplicados en las áreas de observación incluyen diversos aclareos y una corta de los árboles padre. Los dos pasos de corta previos corresponden a tratamientos selectivos según especificaciones del método mexicano de ordenación de montes. En cortas anteriores a ésta se usó motogrúa para la extracción y para ello se construyó una red de brechas de saca de muy alta densidad, que han sido rehabilitadas para el paso de corta actual.

**Medición**: Durante un lapso de 4 semanas se observó el trabajo de la motogrúa en condiciones de operación comercial, pero sólo una fracción de los eventos ocurridos durante este lapso pasó a formar parte de la muestra, en el entendido de que los eventos que ocurren en ciclos distintos de trabajo son considerados independientes y de que las circunstancias bajo las que los eventos se desenvuelven (distancias, pendientes, densidad del rodal, etc.) son en gran medida repetitivas y no hay beneficio en tomar más muestra que la necesaria para estimar confiablemente la variabilidad.

Las primeras observaciones registradas posiblemente hayan sufrido un sesgo debido a la novedad que para los trabajadores representó el ser evaluados; por ello se omitieron las mismas de la base

de datos. Así mismo, se separó del análisis aproximadamente el 10% de la muestra para usarla en la validación del modelo.

El proceso de medición consistió en un registro de tiempo continuo en el que se anotó el momento de inicio de cada evento de interés, considerando que el fin del mismo ocurre al iniciarse el siguiente. El instante de terminación de la última actividad de una serie, es la única terminación que requiere ser registrada.

Se usó el segundo como unidad de tiempo, a pesar de que la unidad usual en estos estudios es el minuto (p.e. Samset, 1981). La aproximación en mediciones de tiempo fue de 0.01 seg, pero debido a que existe un período de transición entre muchas de las funciones medidas, en el nivel de aproximación real fue de 1.0 seg.

Definición de funciones:

* Salida. Inicia cuando el ganchero ha tomado el gancho y da el primer paso para llevar el cable hasta la pieza a arrimar. Termina cuando el ganchero se inclina para enganchar la pieza.
* Amarre. Tiempo entre la terminación de la salida y el momento en que el operador recibe la señal del ganchero para enrollar.
* Arrastre. Tiempo desde la terminación del amarre hasta que la pieza arrimada se ha detenido al pie de la grúa y un ganchero se ha aproximado quedando en posición de desamarrar.
* Colocación. Proceso al final del arrastre encaminado a colocar a la pieza arrimada sobre la pila de trocería. Puede incluir o no operaciones de re-amarre y arrastre menor en la vecindad de la motogrúa. La función concluye cuando uno de los gancheros se coloca en posición para el desamarre final de la pieza.
* Desamarre. Inicia esta función al terminar el arrastre, si la posición de la pieza es favorable o al concluir la función de colocación en caso contrario. Al concluir esta función, el gancho queda libre para iniciar el siguiente ciclo.
* Apilado. Reacomodo de trocería cuando ésta interfiere en la labor de desmontaje o cuando han quedado trozas en posiciones fuera de alcance de la grúa de carga.
* Montaje. Inicia una vez que la grúa ha llegado al siguiente punto de trabajo, e incluye los movimientos de la máquina para quedar en la posición deseada para iniciar los arrimes de un nuevo carril, además de las operaciones de anclaje que se consideren necesarias. La función de montaje termina cuando la máquina está disponible para operar.
* Desmontaje. Tiempo entre la terminación de la última función en un carril de arrime y el momento en que la motogrúa inicia su avance a la siguiente ubicación.
* Traslado. Tiempo que pasa la motogrúa en tránsito hacia el siguiente carril de arrime.
* Apoyo. Tiempo durante el que la motogrúa es empleada para facilitar o realizar funciones productivas distintas del arrime, principalmente las relacionadas con el derribe. Los tiempos indicados en las funciones anteriores son tiempos netos de trabajo o sea excluyentes de tiempos muertos o demoras.
* Demora. Tiempo designado como de trabajo durante el que ocurren eventos o funciones que no son parte necesaria del proceso de producción. Los tipos de demora considerados son:
    + Atoramiento. Tiempo durante el que se detiene el avance del arrastre debido a obstáculos en el carril de arrime.
    + Interferencia. Tiempo durante el que se detiene cualquier fase del

ciclo de un trabajo debido a la presencia de un trabajador que ejecuta una labor colateral (p.e. derribo, troceo, recepción, mantenimiento de equipo).

+ Avería. Tiempo de trabajo perdido debido a un problema en cualquiera de los componentes de la máquina, tal que ésta queda fuera de operación.
+ Error. Tiempo de trabajo que se pierde por falta de pericia o decisiones inadecuadas de los trabajadores.
+ Demora de trabajo. Tiempo de trabajo perdido debido a operaciones realizadas en condiciones difíciles (p. ej. carga excesivamente pesada) o en las que se excede marginalmente la capacidad de trabajo del sistema (p. e. arrime cuesta abajo).
+ Interrupción. Alto en el proceso de trabajo por razones ajenas al sistema de producción, por ejemplo, por descansos no programados o por contingencias (incendios, decisiones del empresario o del propietario del bosque, etc.).

Las variables explicatorias en este estudio son: la distancia de arrime en metros, la pendiente en porciento, la densidad del arbolado antes de la corta en metros cuadrados por hectáreas ($m^2$/ha) de área basal, la densidad de corta en $m^2$/ha de área basal, el volumen de la pieza arrimada ($m^3$), el largo de la pieza en metros y el número de trozas que de ella se produjeron. La Tabla 1 muestra las características generales de la base de datos.

## PROCESAMIENTO

La estrategia de construcción del modelo, consistió en generar ecuaciones de regresión separadas para cada función, que haya mostrado una relación estadísticamente significativa con respecto a por lo menos una variable explicatoria o respecto a otra función.

Aquellas funciones que se mostraron estadísticamente independientes se modelaron a través de su media. La selección de modelos de regresión y variables en cada modelo obedece a una secuencia de análisis usual en modelaje, semejante a la sugerida por Drapper y Smith (1966), Daniel y Wood (1989) y Edwards (1976). Por principio, se probaron modelos lineales simples de cada función relacionadas con cada variable explicatoria y respecto a cada otra función cuya correlación simple resultó significativa (p#0.1), sin importar el valor del coeficiente de correlación. Después, se conjuntaron las variables explicatorias más atractivas dentro de ecuaciones de regresión lineal múltiple, siguiendo el orden de su capacidad para explicar la variación de la variable dependiente. A continuación, se probaron variantes de la composición del modelo en cuanto a variables y en cuanto a formulación matemática, incluyendo introducción, eliminación y transformación de variables y el uso de regresión no lineal, todo ello siguiendo ideas derivadas de los modelos ya publicados. También, se tomó en cuenta el índice de inflación de varianza, la homogeneidad y la tendencia de la distribución de errores y la importancia relativa de los coeficientes de regresión, medida en cuanto a coeficientes estandarizados y sumas parciales de cuadrados, para realizar alteraciones a los modelos de regresión.

Tabla 1. Características de la base de datos

| VARIABLE | UNIDAD | MEDIA | DESV. EST. | MINIMO | MAXIMO | MUESTRA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| montaje | seg | 475.89 | 366.59 | 0 | 2060 | 54 |
| desmontaje | seg | 166.91 | 128.82 | 10.39 | 1027 | 47 |
| apoyo | seg | 257.45 | 140.68 | 163.73 | 537 | 5 |
| salida | seg | 93.67 | 51.28 | 9.73 | 355.39 | 264 |
| amarre | seg | 69.75 | 62.05 | 5 | 478.25 | 286 |
| arrastre | seg | 85.07 | 58.74 | 8.16 | 475.59 | 331 |
| acomodo | seg | 179.02 | 154.61 | 0 | 946.46 | 163 |
| desamarre | seg | 21.7 | 18.23 | 0 | 222.1 | 303 |
| distancia | m | 55.18 | 28.81 | 6.4 | 141 | 330 |
| pendiente | % | 41.85 | 18.09 | -38 | 74 | 334 |
| trozas | | 5.2 | 2.15 | 1 | 13 | 334 |
| largo de pieza | m | 14.92 | 6.14 | 2.5 | 35 | 334 |
| volumen | $m^3$ | 2.02 | 1.22 | 0.24 | 8.74 | 334 |
| área basal | $m^3$/ha | 18.63 | 6.06 | 8 | 32 | 334 |

## ESTRUCTURA

La estructura lógica del modelo está basada en la adición de estimaciones de funciones individuales según la secuencia indicada en la figura 12. Obsérvese que algunas funciones ocurren de manera regular e ineludible en el tiempo de trabajo, pero muchas otras son contingencias derivadas de las condiciones diversas y cambiantes propias del ambiente de trabajo de campo.

La estimación de la duración neta de una función dada sería por la ecuación 1; mientras que la duración de la función en tiempo efectivo de trabajo sería calculada por la ecuación 2. La duración de un turno sería la suma de los tiempos de cada una de las funciones implicadas (salidas, amarre, arrastre, desamarre, acomodo, apilado y apoyo); con base en el turno es posible estimar el rendimiento físico neto, calculado por la ecuación 3. Para pasar de rendimiento neto a rendimiento bruto habría que añadir al primero la esperanza de duración de las funciones fuera del ciclo de arrime (p.e. mantenimiento regular, montaje, traslado y desmontaje) y las demoras correspondientes (tiempos muertos y averías mayores). Esto se muestra en la ecuación 4.

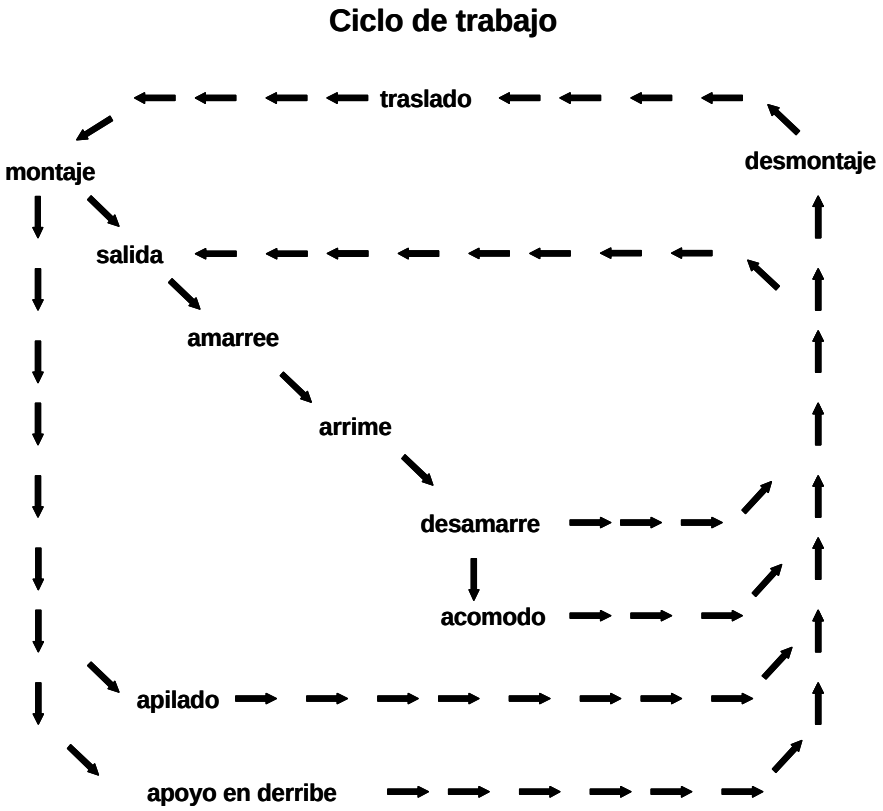



Figura 12. Secuencia de funciones del trabajo de la motogrúa

$$FUNCION_i = f(DISTANCIA, PENDIENTE, CARGA, DENSIDAD, ERROR) \quad \text{(ec. 1)}$$

$$TRABAJO_i = FUNCION_i * prob(FUNCION_i) + DEMORA_i * prob(DEMORA_i) \quad \text{(ec. 2)}$$

$$TURNO = \sum_{i=1}^{ciclo} TRABAJO_i \quad \text{(ec. 3)}$$

$$RENDIMIENTO_NETO = CARGA/TURNO$$

$$TNOMINAL = \left(\left(\sum_{i=ciclo+1}^{ciclo} TRABAJO_i + \sum_{j=1}^{última} T_OTRA_LABOR_j\right)\right) \quad \text{(ec. 4)}$$

$$RENDIMIENTO_BRUTO = CARGA/TNOMINAL$$

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Ajustes estadísticos

Las únicas funciones que resultaron en relaciones estadísticas importantes fueron la salida del cable y el tiempo de arrastre. La tabla 2 representa a los mejores modelos para estas funciones. Es claro que si bien los ajustes son altamente significativos, su utilidad práctica es escasa, pues el factor de mayor peso en la estimación de los tiempos de salida y arrastre es la ordenada al origen. Por este motivo es que sería preferible ignorar a las ecuaciones de regresión y que la estimación de las funciones de salida y arrastre se haga utilizando la media de las observaciones registradas; consecuentemente, la realización del proceso de validación planeado pierde sentido, pues la esperanza de una suma de medias de tiempos parciales muestreados es también la esperanza de los tiempos totales.

La falta de ajuste de los modelos de regresión puede tener varias explicaciones, entre ellas: que las variables explicatorias no tengan relación con la variable de respuesta, lo cual sería sorprendente dado que modelos previamente desarrollados las incluyen casi en forma universal. Por ejemplo, Johnson (1983) presenta el siguiente modelo para motogrúa, sin indicar estadísticas de ajuste o validación.

Turno = 1.204 + 0.0011* VOLUMEN + 0.0019*DISTANCIA - (16.596/PENDIENTE)

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| Turno | = | Duración neta del ciclo de arrime, minutos. |
| Volumen | = | Volumen de la troza arrimada, pies tabla |
| Distancia | = | Distancia de arrime, pies |
| Pendiente | = | Pendiente del carril de arrime, porciento |

Seifert (1982) es uno de los escasos estudios disponibles en donde se presentan datos de ajuste y también él hace uso de variables representando distancia de arrime, pendiente y peso de la carga. Sus ecuaciones representan funciones individuales del ciclo de arrime con equipos diversos. Sus coeficientes de determinación van de 0.44 a 0.87 y los coeficientes de las ecuaciones tienen niveles de significancia por debajo de 0.05.

Otra posibilidad es que la muestra sea insuficiente, particularmente considerando que la duración de las labores de campo es un fenómeno de muy alta variabilidad. Se observaron 334 ciclos de arrime, en comparación con 237 a 398 ciclos en Seifert (1982). Cabría pues suponer, que una muestra 3 ó 4 veces más grande sería mejor, sobre todo si fuese posible distribuirla uniformemente sobre las diferentes condiciones en que opere la motogrúa. Finalmente, cabría considerar la adición de subcategorías dentro de la definición de funciones (operaciones) y de sus demoras, para reducir la variabilidad de los eventos registrados.

## RELACIONES ENCONTRADAS

El resultado de esta investigación es que es posible estimar la duración de las funciones de trabajo de la motogrúa en la zona sur del Estado de Michoacán mediante:

Montaje = 475.89 ± 366.59 seg
probabilidad . 100%

Desmontaje = 166.91 ± 128.82 seg
probabilidad . 100%

Salida = 93.67 ± 51.28 seg
probabilidad . 100%

Amarre = 69.75 ± 62.05 seg
probabilidad . 100%

Tabla 2. Ecuaciones de regresión para las funciones de salida y arrastre

| VARIABLE | COEFICIENTE | ERROR ESTANDAR | PROB $ (t) | INFLACION VARIANZA |
|---|---|---|---|---|
| SALIDA | variable de respuesta | | | |
| ordenada | 23.479166 | 6.529423 | 0.0004 | 0 |
| AB PINO | 3.506822 | 0.906241 | 0.0001 | 1.06 |
| DISTANCIA | 0.855729 | 0.148177 | 0.0001 | 2.817 |
| FACTOR PEND | 0.005238 | 0.002877 | 0.0697 | 2.724 |
| | | | | |
| ARRASTRE | variable de respuesta | | | |
| ordenada | 50.646217 | 7.61788 | 0.0001 | 0 |
| DISTANCIA | 0.81103 | 0.102141 | 0.0001 | 1.007 |
| CARGA | -16.427429 | 5.163874 | 0.0016 | 1.007 |

| FUENTE | GL | SUMA DE CUADRADO | CUADRADO MEDIO | F | PROB$F | R2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SALIDA | | | | | | |
| MODELO | 3 | 257693 | 8.589E+4 | 48.007 | 0.0001 | 0.3373 |
| ERROR | 283 | 506359 | 1789.254 | | | |
| TOTAL | 286 | 764052 | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| ARRASTRE | | | | | | |
| MODELO | 2 | 195959 | 9.797e+4 | 39.075 | 0.0001 | 0.2106 |
| ERROR | 293 | 734696 | 2507.496 | | | |
| TOTAL | 295 | 930655 | | | | |

VARIABLES:

| | | |
|---|---|---|
| SALIDA | = | tiempo de salida, seg |
| ABPINO | = | área basal de pino derribado, $m^2$/ha |
| DISTANCIA | = | distancia de arrime, m |
| FACTORPEND | = | porciento de pendiente por distancia |
| | | |
| ARRASTRE | = | tiempo neto de arrastre, seg |
| DISTANCIA | = | distancia de arrime, m |
| CARGA | = | volumen de la pieza arrimada, $m^3$ |

Amarre = 69.75 ± 62.05 seg
probabilidad . 100%

Arrastre = 85.07 ± 58.74 seg
probabilidad . 100%

Acomodo = 179.02 ± 154.61 seg
probabilidad . 100%

Desamarre = 21.70 ± 18.23 seg
probabilidad . 100%

Demoras:
Arrastre = 119.39 ± 106.48 seg
probabilidad . 20.66%

Salida, amarre, acomodo y desamarre =
200.96 ± 409.06 seg
probabilidad . 63.17%

Desmontaje y montaje =
920.12 ±2105.99 seg
probabilidad . 45.54%

El tiempo de traslado no fue medido, pero considérese aceptable suponer que la velocidad de viaje en traslados cortos (de un carril al siguiente) es de alrededor de 5 km/h y en traslados mayores (cambio de brecha o de predio) de 10 a 20 km/h.

## IMPLICACIONES

El conjunto de funciones anteriores establece que funciones agregadas dan tanto la carga, como el tiempo de cada ciclo de trabajo en forma que su estimación depende de elementos de ingeniería de la extracción (definida como un cierto diseño de área de corta), del terreno y datos silvícolas.

Con datos semejantes al caso michoacano es de esperar rendimientos de arriba de 200 $m^3$, por turno de 5.5 h efectivas, pero como se anotaba en la descripción del ciclo de trabajo, constantemente se detiene el trabajo para desatorar piezas que topan con arbolado residual, maleza o irregularidades del terreno. Evitar estos problemas, que además causan pérdida de tramos de cable, lleva a usar distancias de arrime medias de menos de 70 m y sólo en casos extremos, si aún no se ha trozado el cable, se desenrollarían los 400 m de cable que caben en la bobina de la motogrúa. Para tener estas distancias, el sistema exige una alta densidad de brechas de saca dentro del rodal.

Entre las especificaciones técnicas ya mencionadas algunas tienen un significado relevante. Por principio tenemos que las motogrúas en México y en Estados Unidos son máquinas a base de piezas de segunda mano, con un costo insignificante y considerando su alta productividad, financieramente muy atractivas. Por tanto, no importa que se coloque al motor en condiciones de trabajo tan pesadas que rápidamente se desgasta. Empero, otros elementos de diseño son realmente errores de ingeniería que son enmendables; el peor de ellos es el gancho, que innecesariamente troza al cable al sujetarlo, cosa que no sucede en el caso de las grúas en EU en donde usan estrobos en su lugar. Las tenazas ya casi no se ven en México ni en EU, porque no sujetan la carga con firmeza.

Otros problemas más complicados son: que en ausencia de riendilla se depende del trabajo de gancheros que es en extremo pesado y lento, además, se pierde la oportunidad de mejorar el control de la trayectoria de arrastre que se tendría haciendo trabajar la riendilla para tensar la línea principal.

La posición de trabajo de la grúa es en el sentido del camino y evita construir cargaderos, pero obstruye el tránsito con la trocería apilada sobre la brecha y obliga a la destructiva y lenta maniobra de

acomodar la trocería sobre el camino, que implica un giro de 90/ sobre la dirección de la pieza que viene del carril de arrime. Es un problema serio y la motogrúa por diseño no tiene la capacidad para realizar esta maniobra. En algunos lugares se mitiga el problema dejando la carga a orilla de brecha por el lado de abajo y una grúa de cable y talón con plataforma giratoria realiza el apilado o la carga directa de la trocería.

## CONCLUSION

La motogrúa es altamente eficiente en el arrime de madera en bosques con arbolado grueso, pero tiene especificaciones obsoletas que hacen que se detenga el trabajo constantemente, se pierda cable, se deteriore el equipo y sobre todo, causa fuerte daño al arbolado residual (si lo hubiera), al suelo y causa un impacto ambiental serio y pérdida de área productiva por excesiva densidad de brechas de saca. Estas deficiencias son menores en la medida que se tiene mayor intensidad de corta, mayor diámetro de corta, menor largo de trocería (troceada en el sitio de apeo) y terrenos de fuerte pendiente, pero microtopografía homogénea ligeramente cóncava.

En cuanto a la ingeniería de la máquina, cabe concluir que existen numerosos elementos perfeccionables, pero que no existe interés en ellos por la estrategia financiera predominante, que considera a la motogrúa como una inversión insignificante; se trata de una máquina desechable que es más fácil de renovarse que de repararse o mejorarse.

En la medida en que se haga importante un trabajo de calidad tanto silvícola como industrial, la motogrúa debe abandonarse por no estar a la altura de equipos con mayor control de las operaciones de cosecha de madera.

Este estudio también puede entenderse como una aproximación inicial al estudio cuantitativo de las operaciones de madereo, con una aplicación en modelaje para propósitos de evaluación financiera y para acomodarse dentro de sistemas automatizados de apoyo a la toma de decisiones silvícolas y de manejo, especialmente en los tópicos de planeación de cortas y de caminos.

## RECONOCIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al soporte económico del CONACYT (proyecto PCCCNA-31702), al favor de la voluntad comunal del Ejido Varaloso, Michoacán y la buena disposición de sus autoridades y trabajadores que aportaron tanto el equipo, como sus montes a este trabajo. Además, fue importante el apoyo de la infraestructura del Colegio de Postgraduados.

## REFERENCIAS

Anaya L., Héctor. 1975. Transporte forestal con tractores, cables, helicópteros y globos. *In*: Seminario FAO/SIDA sobre el transporte de la madera en países de América Latina. Oaxtepec, Mex. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

Conway, S. 1976. Logging practices. Miller Freeman Publications. San Francisco, Ca. 416 p.

Daniel, C. y F.S. Wood. 1980. Fitting equations to data. 2a ed. Wiley. Nueva York. 458 p.

Drapper, N.R. y H. Smith. 1966. Applied regression analysis. Wiley. Nueva York. 407 p.

Edwards, A.L. 1976. An introduction to linear regression and correlation. Freeman & Co. San Francisco, Ca. 213 p.

FAO. 1978. Planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento. Subdirección de Explotación y Transporte Forestal. Dirección de Industrias Forestales, Departamento de Montes, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma.

Goulet, D.V., D.L. Siriois, C.A. Stutts y M.P. Bailey. 1978. Harvesting simulation: an evaluation and review for use in the Southern United States. *In*: Simulation techniques in forest operational planning and control. Proc. Workshop/Symposium. Wageningen, Holanda. International Union of Forest Research Organizations. Department of Forest Technique and Forest Products, Agricultural University. 310 p.

Haarlaa, R. 1981. Productivity measurement in logging operations, recommendations based on international practice. Harvesting Research Group, Division of Forest Research. CSIRO. Australia. 29 p.

Johnson, L.R. 1983. Information for logging analysis and planning. Forest Products Department. College of Forestry, Wildlife, and Range Sciences. University of Idaho. Moscow, ID. 29 p.

Perkins, R.H. 1967. Skyline logging systems design. Ph.D. Thesis. Purdue University. Lafayette, IN. 99 p.

Samset, I. 1981. Vinsj-og taubanesystemer i norsk skogbruk (winch and cable systems in Norwegian forestry). Norsk Institutt For Skogforskning (Reports of the Norwegian Forest Research Institute) 37.1. 501 p.

SARH. 1980. Sistemas de cable aéreo (tipo europeo) en la extracción de trocería y leñas. Dirección General para el Desarrollo Forestal. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. 146 p.

Seifert, J.C.W. 1982. Production rates and residual stand impact for four skidding machines during overstory removal. M.Sc. Thesis, Oregon State University. Corvallis OR. 127 p.

Sessions, J. 1979. Effects of harvesting technology upon optional stocking regimes of forest stands in mountainous terrain. Ph.D. Thesis. Oregon State University. Corvallis OR. 259 p.

Simmons, F.C. 1979. Handbook for eastern timber harvesting. USDA Forest Service. Northeastern Area State and Private Forestry. Broomall, PE. 180 p.

Stevens, L. 1966. An exploratory analysis of skidding in the Rocky Mountain area with emphasis on crawler tractor skidding. MSc. Thesis. Montana State University. Bozeman, MO. 102 p.

Studier, D.D. y V.W. Binkley. 1974. Cable logging systems. USDA. Forest Service. Division of Timber Management. Portland, OR. 211 p.

Studier, D.D., R. Iff, J. Sessions y W.B. Stuart. 1983. Logging. *In*: Forestry Handbook. 2nd ed. (K.F. Wegener, ed.). Wiley. Nueva York. 1335 p.