

# Simplificación de métodos de investigación

Dr. Francisco Murillo Soto\*

## RESUMEN

*El propósito de este artículo es proponer algunos ejemplos del método de experimentación que pueden ampliar perspectivas a futuros investigadores. Se hace especial énfasis en el uso de modelos.*

## INTRODUCCION

Todo proyecto de investigación o de desarrollo tecnológico, en su fase de selección de métodos debería siempre analizar la siguiente pregunta: ¿EXISTE ALGUNA MANERA DE LOGRAR LO MISMO, MAS SENCILLA Y ECONOMICAMENTE? La simplificación se traduce, generalmente, en economía de tiempo y recursos; en consecuencia, el éxito de un proyecto depende, en buena medida, del método seleccionado.

La habilidad para encontrar formas sencillas y económicas para el desarrollo de un proyecto, debe representar una satisfacción primordial para el investigador: un presupuesto considerable, asignado a un proyecto, no necesariamente reportará mayor prestigio; podría significar, precisamente, lo contrario si alguien (y generalmente ocurre) encuentra aquella forma, más sencilla y económica de lograr el mismo propósito. Se corre el riesgo, además, de reducir posibilidades de financiamiento.

Aunque de hecho, generalmente existen vías más simples que las finalmente propuestas por el investigador, un análisis cuidadoso en la fase de selección del método, podrá reducir la posibilidad de encontrar, posteriormente, métodos mucho más eficientes y económicos.

La observación y la experimentación son, para el investigador, lo que los ladrillos y el cemento para el albañil. El albañil puede discurrir formas muy complicadas para construir una casa: levantar muros completos y agujerearlos después, con cincel y martillo, para hacer puertas y ventanas; cavar bajo los muros para construir los cimientos, etc. En forma similar el investigador puede discurrir métodos

de observación y experimentación que le lleven a construir muros sin cimientos o sin puertas y ventanas.

## EL METODO CIENTIFICO

Puede decirse, en general, que el éxito de un proyecto de investigación depende, en buena medida, del apego al método científico. Es ésta la guía de construcción que ayuda al investigador a evitar la edificación de muros sin cimientos, auxiliando en la estructuración lógica de la observación y la experimentación por medio de procesos de inducción y deducción. Este método debe llevar a establecer principios o modelos, cuya solidez refleje la solidez de aquel.

Una vez definida la forma de realizar la observación y la experimentación, el método científico proporciona lineamientos que apoyarán la validación de resultados.

## MODELOS

Típicamente, los proyectos de investigación o desarrollo tecnológico tienen por objetivo la elaboración de algún modelo. En el proceso de alcanzar ese objetivo, el investigador puede hacer uso de varios tipos de modelos.

El modelo que se va a elaborar puede ser:

- a) Un modelo o patrón (principio) de comportamiento de algún fenómeno físico, químico o biológico, de algún sistema productivo o económico.
- b) Un modelo o prototipo de algún producto o proceso.

Existen, en general, tres tipos de modelos para representar objetos o procesos reales. Estos pueden ser

\* Asesor del Banco Interamericano de Desarrollo asignado al Instituto Tecnológico de Costa Rica (mayo 1980-mayo 1981).

**Modelos abstractos o simbólicos:**

Una definición escrita, una ecuación, una gráfica, un diagrama de flujo.

**Modelos análogos:** "Monopolio", un juego de salón análogo al de un sistema económico en competencia e incertidumbre; circuitos eléctricos (resistencia, inductancia, capacitancia) RLC, análogos a sistemas mecánicos MKc (masa, resorte, amortiguador).

**Modelos iconográficos:** Dibujos, maquetas, modelos a escala.

Podrán existir diferencias de opinión respecto a la clasificación de los modelos, sin embargo, es generalizada la aceptación de los tipos de modelos citados como herramientas para observación y experimentación.

Es fundamental para el investigador conocer y saber utilizar los distintos tipos de modelo y distinguir cuándo el uso de ellos conduce a simplificación y economía.

Se proponen, a continuación, algunos ejemplos de aplicación de modelos para investigación y desarrollo tecnológico.

**MODELOS SIMBOLICOS**

En general, los modelos simbólicos son los de menor costo. No necesariamente, sin embargo, son los de más sencilla elaboración.

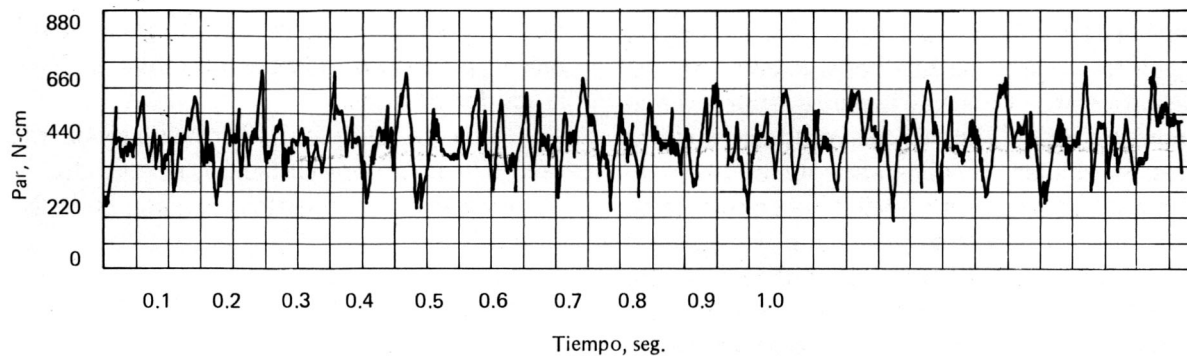
Establecer una hipótesis y tratar de probarla con resultados de observación y experimentaciones es un procedimiento más racional y sencillo que emprender observaciones y experimentaciones para posteriormente buscar qué puede inferirse de los resultados.

La ciencia del análisis dimensional (2,5) proporciona una herramienta muy poderosa para elaborar modelos matemáticos (abstractos) al facilitar la búsqueda de relaciones entre variables que definen un sistema y reducir el número de variables.

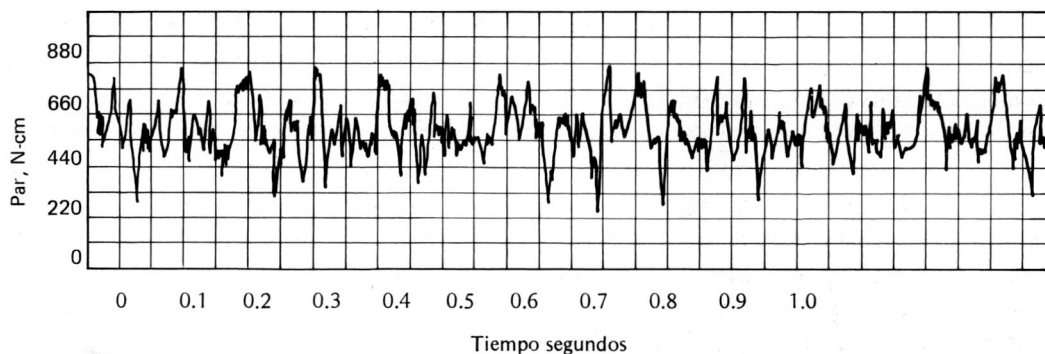
El análisis dimensional, además, aporta validez a las pruebas con modelos a escala.

Se propone, a continuación, un ejemplo que ilustra el empleo de otros modelos simbólicos.

En el transcurso de una investigación sobre tractores con tracción en las cuatro ruedas, utilizando un modelo a escala, se observó una gran variabilidad instantánea de la fuerza tractiva en ambos ejes (*Figura 1*).



a) Para torsional en el eje delantero ( $T_F$ ), vs. tiempo. Velocidad del graficador: 125 mm/seg.



b) Para torsional en el eje trasero ( $T_R$ ), vs. tiempo. Velocidad del graficador: 125 mm/seg.

FIGURA 1

Este fenómeno explica, en parte, la presencia de vibraciones apreciables en ese tipo de tractores, en condiciones extremas de trabajo.

Se consideró como causa probable de esa variabilidad la diferencia instantánea en el patinaje de las ruedas traseras y delanteras: las primeras, en un instante determinado, puedan ejercer contacto o agarre positivo con el suelo, mientras las ruedas delanteras tienden a patinar. En ese instante, el eje trasero "empuja" al delantero. En el instante siguiente la situación puede invertirse y el eje delantero "jala" al trasero. Pueden existir instantes en que ambos ejes "jalen" e instantes de fuerza tractiva mínima o cero en ambos ejes.

Se propuso la hipótesis siguiente:

*Las irregularidades del suelo que pueden ocasionar patinaje de una rueda (piedras, cambios en composición, diferencias en contenido de humedad, etc.), se encuentran según una distribución Poisson.*

*En consecuencia, las distancias entre irregularidades se distribuyen exponencialmente.*

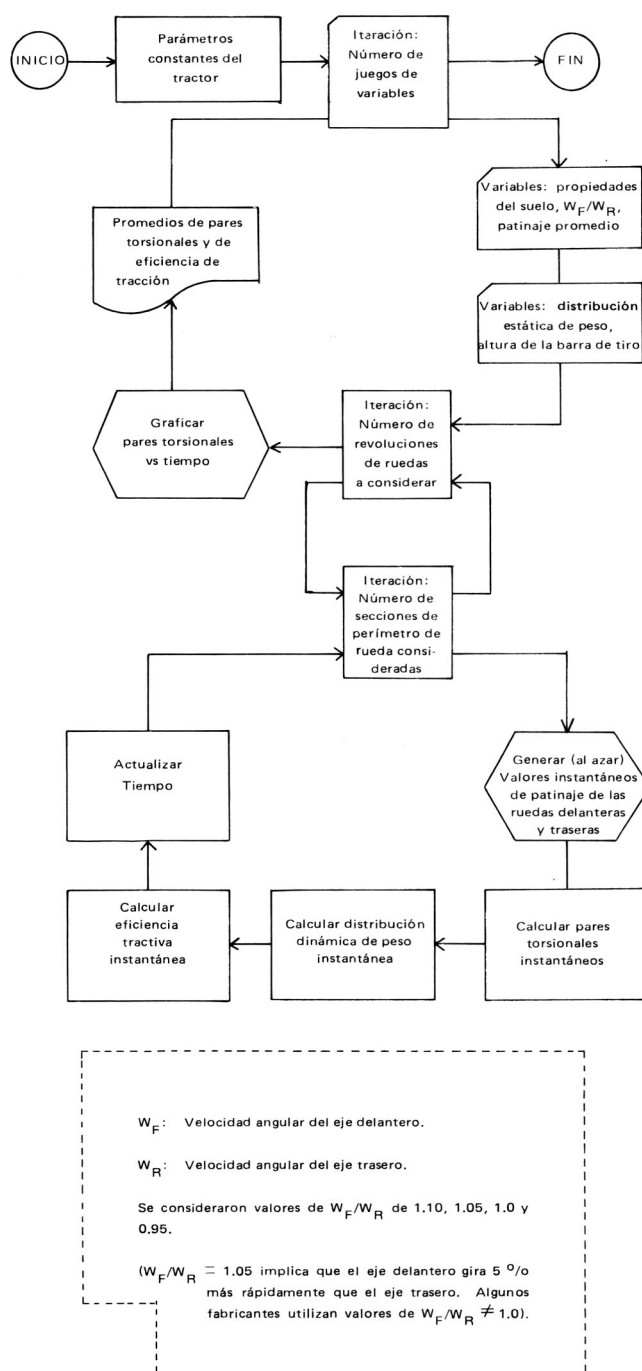
La distribución Poisson tiene la propiedad de aproximarse a una distribución normal, cuando la población es grande (miles de irregularidades en una distancia corta).

Obviamente, probar esta hipótesis por experimentación en el sistema real, no es sencillo. El método experimental, en este caso, consistió en el empleo de cámaras y películas de alta velocidad, filmando el proceso real, observando y haciendo mediciones en proyecciones fijas o en "cámara lenta".

El método no experimental consistió en elaborar un modelo de simulación digital (un modelo análogo). Para ilustrar el procedimiento de la simulación se utilizó un modelo simbólico: un diagrama de flujo (Figura 2).

Este modelo se programó en un computador con capacidad de producir gráficas en microfilm. Las gráficas de la Figura 3 fueron obtenidas de esos microfilms. La semejanza de estas gráficas, con las de la Figura 1, es evidente.

Esta semejanza fue constante en todas las condiciones probadas con el modelo a escala.



(Existen ecuaciones para calcular estas variables en función de propiedades del suelo, peso, patinaje, etc.)

FIGURA 2. Diagrama de flujo de una simulación digital del fenómeno "jala-empuja" en tractores con tracción en las cuatro ruedas.

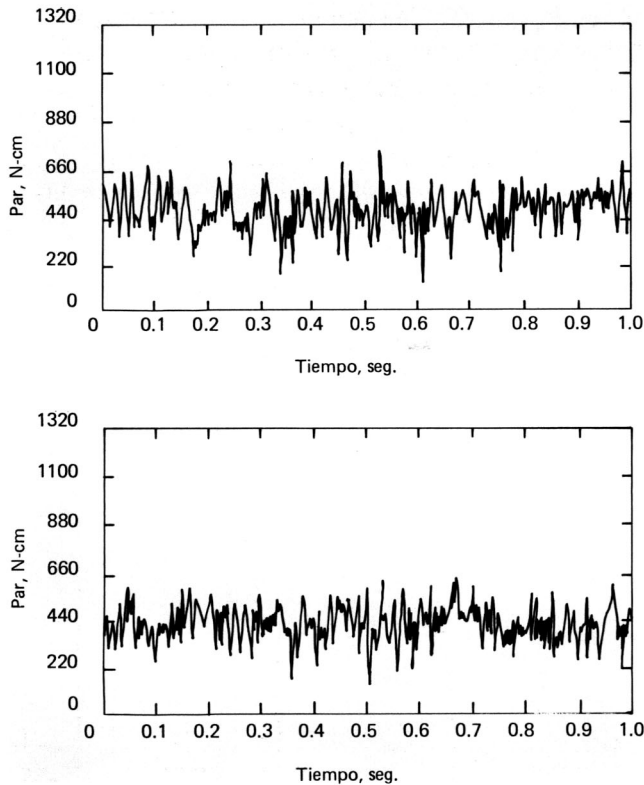


FIGURA 3. Variaciones de pares torsionales en los ejes delantero ( $T_F$ ) y trasero ( $T_R$ ) con el tiempo.

El conocimiento de este comportamiento servirá como base para estudios posteriores de fatiga en ejes motrices, diseño de transmisiones y engranajes, dispositivos para limitar patinaje, diseño de llantas agrícolas, etc.

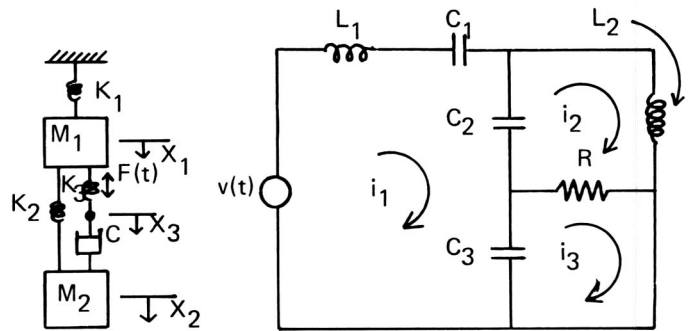
El ejemplo ilustrado comprende la aplicación de los tres tipos de modelos citados: modelo iconográfico (modelo a escala de un tractor), modelo análogo (simulación) y modelo simbólico (diagrama de flujo).

## MODELOS ANALOGOS

En general, los modelos análogos son de mayor costo que los modelos simbólicos, pero de menor costo que los modelos iconográficos. El tipo de proyecto o experimentación que se efectúe determinará cuándo es más sencillo y económico experimentar en un modelo análogo.

Uno de los mejores ejemplos de este tipo de modelos es el de circuitos eléctricos RLC como análogos de sistemas mecánicos MKc.

El comportamiento del circuito RLC, mostrado en la *Figura 4*, es semejante al comportamiento del sistema mecánico de la *Figura 5*. De las observaciones en cualquiera de los dos sistemas puede determinarse el comportamiento del otro. Las ecuaciones diferenciales del circuito eléctrico y de movimiento del sistema mecánico son similares.



### ANALOGIA

|                                 |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| M: masa                         | L: inductancia      |
| K: constante elástica           | L/C: capacitancia   |
| c: constante de amortiguamiento | R: resistencia      |
| F(t): fuerza de excitación      | v(t): voltaje       |
| x: desplazamiento               | q: carga (coulombs) |
| $\dot{x}$ : velocidad           | i: corriente        |

FIGURA 4. Modelos análogos (tomados de la Referencia 6)

La forma de las microcuenas se obtenía con aperos manuales. Por ello, aunque se alcanzaron buenas producciones de forraje por hectárea, la aplicación de esta técnica en superficies grandes era muy limitada. Se consideró, en consecuencia, desarrollar alguna máquina o implemento que proporcionara el movimiento necesario para formar las microcuenas con rapidez y costo aceptables.

Después de elaborar y analizar varias opciones, se decidió adoptar una, con dos mecanismos de cinco barras que proporcionan un movimiento de profundidad e inclinación variables a una cuchilla niveladora. La fuerza y movimiento se obtienen de la resistencia al rodamiento de dos ruedas en el mismo implemento.

El empleo de un modelo iconográfico (*Figura 7*), en este caso elaborado con un Meccano, facilitó el proceso de elaborar una adecuada configura-

ción de todo el dispositivo. Con ese modelo, se pudo ensayar un buen número de posibilidades de configuraciones y prever algunos problemas que podían surgir en el proceso de construcción del primer prototipo (*Figura 8*).

Con todo, el prototipo resultó ser sencillo, no requiere de dispositivos hidráulicos y tiene un

número pequeño de elementos mecánicos costosos (sprockets, cadenas, rodamientos). Cambiando algunos de los brazos de los mecanismos y un sprocket (rueda dentada), pueden obtenerse todas las formas de microcuencas deseadas y dos más, de tipo rectangular, cuya utilidad se encuentra en experimentación

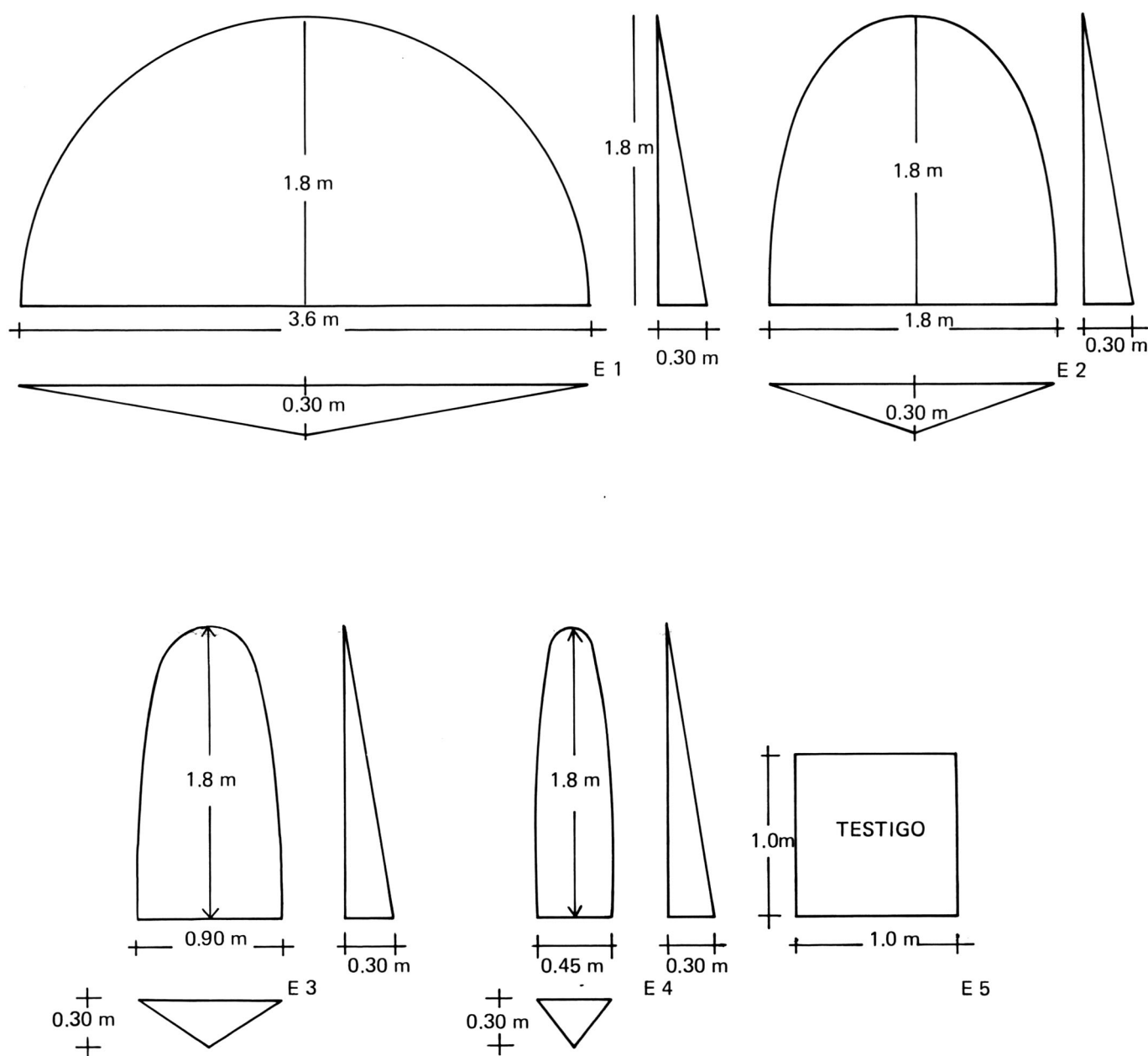


FIGURA 6. Representación gráfica de las 5 microcuencas utilizadas.

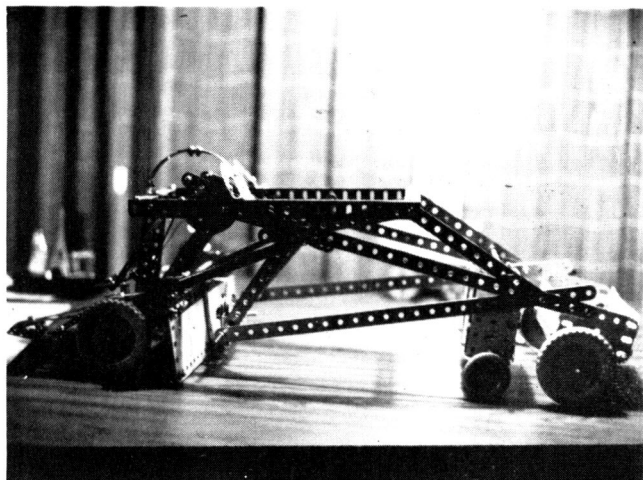


FIGURA 7

Modelo iconográfico, auxiliar en el diseño del prototipo mostrado en la Figura 8.

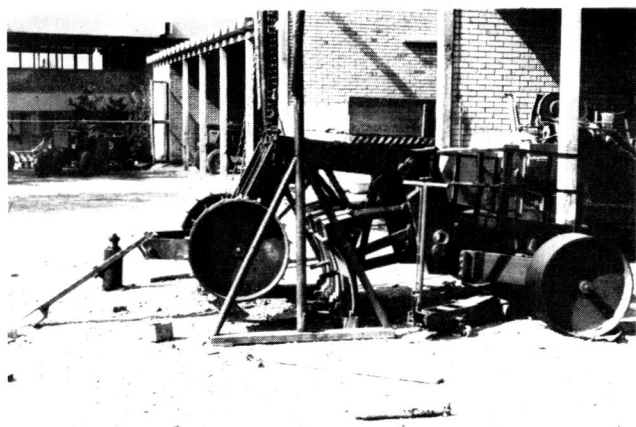


FIGURA 8

Prototipo de implemento para formar las microcuencas (Figura 6) y resembrar pastizales.

## DISCUSION

La experimentación en objetos o procesos reales puede resultar más sencilla y económica que la experimentación en modelos como los aquí descritos. Dependerá siempre de la habilidad y creatividad del investigador, elaborar y utilizar esos modelos y reconocer cuándo su empleo puede traducirse en simplificación y economía, o auxiliarle en una experimentación en un objeto o proceso real.

Aún cuando los ejemplos aquí descritos son un tanto especializados, la generalidad de aplicación de los tipos de modelos citados (simbólicos, análogos, iconográficos) se extiende a todas las disciplinas.

Las limitaciones para el empleo de esos modelos son impuestas por la imaginación del investigador.

## LITERATURA CONSULTADA.

- 1.— Garza C., H. et al. **Transformación de ecosistemas áridos de pastizal; estrategias de establecimiento**. Saltillo: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", 1977. Monografía Técnico-Científica 3 (2).
- 2.— Langhaar, H. L. **Dimensional analysis and theory of models**. New York: John Wiley, 1962.
- 3.— Murillo Soto, F. y Smith, J. L. **Push-pull characteristics of the 4WD tractor**. American Society of Agricultural Engineers, 1978. Paper No. 78-1041.
- 4.— Murillo Soto, F. **Proyecto de construcción de implemento para construcción de estructuras de poceo**. Saltillo: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", 1979.
- 5.— Murillo Soto F. "Los modelos a escala como herramientas para diseño". **MODULO** No. 2 marzo, 1981.
- 6.— Seto, W.W. **Vibraciones mecánicas**. New York: McGraw-Hill, 1979, Cap. 7.