

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL

Estudio del Elemento "Aplicación de Presión" Relacionado  
con Movimientos de los Pies y las Piernas

Tesis en

Ingeniería Industrial

por

Simón Samesas

Sometido a Consideración  
para obtener el  
título de

Ingeniero Industrial

Abril, 1965

INDICE

SUMARIO	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE CUADROS Y DIAGRAMAS	vii
I. INTRODUCCION	
Definición y Planteamiento del Problema	1
Importancia del Tema	2
Aplicación de Presión: Trabajos Previos	3
Objetivos del Estudio	6
II. INSTRUMENTACION	
Instrumentación Usada en el Estudio	8
Construcción del Equipo	12
Los Pedales	16
El Equipo Indicador	18
Medidores de Deformación	21
Circuito Eléctrico para los Medidores de Deformación	22
Circuitos para los Puntos de Comienzo y Fin de la Operación	24
Registro	29
III. REGISTRO DE LA INFORMACION	
Posición del Operador	32
Fuerza de Resistencia	32
Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión	33
Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión Operador	33
Registro de la Información	34
Análisis Estadístico - Análisis de Varianza	39
Otros Análisis	41
IV. RESULTADOS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION OBTENIDA DEL EQUIPO	
Análisis I	44
Interacciones	44
Análisis II	51
Interacciones	51
Análisis III	54
Análisis IV	58
V. <u>RESUMEN Y CONCLUSIONES</u>	
Definición del Problema	65
Objetivos del Estudio	65
Procedimiento de la Investigación	66
Resultado del Experimento y Conclusiones	69
Resumen de Conclusiones y Recomendaciones	70

<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>74</b>
<b>APENDICES</b>	
<b>A</b>	<b>77</b>
<b>B</b>	<b>79</b>
<b>C</b>	<b>87</b>
<b>D</b>	<b>89</b>
<b>E</b>	<b>90</b>
<b>F</b>	<b>95</b>

INDICE DE CUADROS Y DIAGRAMAS

Fig. 1	Instrumentación	9
Fig. 2	Equipo Usado	11
Fig. 3	La Palanca	13
Fig. 4	La Palanca	14
Fig. 5	El Pivote	15
Fig. 6	Pedales	17
Fig. 7	El Pedal	19
Fig. 8	El Pedal y el Sistema Reductor	20
Fig. 9	Circuito Eléctrico para los Medidores de Deformación	23
Fig. 10	Circuito Eléctrico para los Interruptores de Contacto	25
Fig. 11	Caja de Resistencias	26
Fig. 12	La Palanca Descansando Sobre el Tope A (Posición de Descanso)	28
Fig. 13	Registro Típico	30
Fig. 14	Area de Trabajo	36
Fig. 15	Distribución del Tablero de Control	37
Fig. 16	Interacción de Primer Orden Entre la Fuerza de Resistencia y la Posición del Operador	47
Fig. 17	Interacción de Primer Orden Entre la Fuerza de Resistencia y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión	49
Fig. 18	Interacción de Primer Orden Entre la Fuerza de Resistencia y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión	50
Fig. 19	Interacción de Primer Orden Entre la Posición del Operador y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión	53
Fig. 20	Interacción de Segundo Orden Entre la Fuerza de Resistencia, Posición del Operador y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión	55
Fig. 21	Línea de Regresión	64
Fig. 22	Curva de Calibración	78

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Descripción de los Elementos de la Fig. 1	10
Tabla 2	Erromedios Obtenidos de los Operadores	43
Tabla 3	Análisis de Varianza de Tres Factores para la Fuerza de Resistencia, Posición del Operador, Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión, con el Operador Teniendo el Pie Sobre el Pedal	45
Tabla 4	Análisis de Varianza de Tres Factores para la Fuerza de Resistencia, Posición del Operador, Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión, con el Operador Teniendo el Pie a Cinco Pulgadas del Pedal	52
Tabla 5	Análisis de Varianza de Dos Factores para la Fuerza de Resistencia y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión	60
Tabla 6	Prueba de Regresión para los Niveles del Factor Fuerza de Resistencia	62
Tabla 7	Porcentajes para los Valores de la Aplicación de Presión Basados en la Data Experimental	72
Tabla 8	Valores para la Calibración del Equipo	77
Tabla 9	Programa para la Computadora	79
Tabla 10	Secuencias para la Recolección de la Data	82
Tabla 11	Data para Dibujar el Gráfico de la Interacción de Primer Orden Entre los Factores Fuerza de Resistencia y Posición del Operador	87
Tabla 12	Data para Dibujar el Gráfico de la Interacción de Primer Orden Entre los Factores Fuerza de Resistencia y Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión	87
Tabla 13	Data para Dibujar el Gráfico de la Interacción de Primer Orden Entre los Factores Posición del Operador y Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión	88
Tabla 14	Data para Dibujar el Gráfico de la Interacción de Segundo Orden Entre los Factores Fuerza de Resistencia, Posición del Operador y Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión	88
Tabla 15	Análisis de Varianza de Dos Factores para la Fuerza de Resistencia y Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión	89
Tabla 16	Valores Obtenidos para el Operador 1	90
Tabla 17	Valores Obtenidos para el Operador 2	91
Tabla 18	Valores Obtenidos para el Operador 3	92
Tabla 19	Valores Obtenidos para el Operador 4	93
Tabla 20	Valores Obtenidos para el Operador 5	94

## SUMARIO

Un experimento de laboratorio fué llevado a cabo con cinco operadores que realizaron aplicaciones de presión con los pies venciendo cuatro fuerzas de resistencia diferentes, en dos posiciones. Dos distancias fueron recorridas después de la aplicación de presión y dos distancias fueron recorridas por los pies antes de ejercer la presión.

Se pudo concluir que todos estos factores tienen un efecto significativo en el tiempo de performance del elemento Aplicación de Presión. También se encontró que las interacciones fueron significativas y que estas son causadas por un reverso en el tiempo de performance. Se notó que cuando la distancia recorrida después de la aplicación de presión era de una pulgada, el tiempo para pesos pequeños era menor que el tiempo para pesos grandes, pero cuando la distancia era aumentada a cinco pulgadas, lo contrario fué encontrado verdadero. El tiempo necesario para aplicar presión fué encontrado que no es constante, que sigue una relación lineal y que ésta está en función de la fuerza de resistencia.

El propósito principal de esta investigación será el de hallar el efecto que ciertos factores tienen sobre el tiempo de performance del elemento Aplicación de Presión. El tiempo entre el instante en que el operador empieza a ejercer presión con el fin de vencer la fuerza de resistencia y el momento en que un desplazamiento comienza, va a ser el tiempo o el intervalo de tiempo considerado, basados en la definición de este elemento.

### Importancia del Tema

Dos de los sistemas de tiempos predeterminados más comúnmente conocidos, "MTM" y "WORK FACTOR", dan especial énfasis al estudio sobre la aplicación de presión.

La Aplicación de Presión que es discutida en esta tesis es parte del elemento MTM "Apply Pressure". En el "Work Factor Time Standard",<sup>(10)</sup> este tiempo es llamado "Tiempo Equivalente". En ambos sistemas al igual que en todos los otros sistemas de tiempo predeterminado, el tiempo usado es un promedio del tiempo encontrado por medio de diferentes experimentos. Sin embargo, cuando un sistema de variables es usado, este tiempo constante no es correcto.

Las siguientes definiciones describen los elementos "Apply Pressure" y Tiempo Equivalente.

Aplicación de Presión es, como su nombre lo indica, la aplicación de una fuerza muscular sobre un objeto u objetos para lograr control, restringir o vencer la resistencia al movimiento. El objeto no es materialmente desplazado durante su performance, debido a la vacilación existente mientras que los músculos obtienen la tensión necesaria demandada para este propósito. (6,173)

Esta definición fué modificada posteriormente por James A. Foulke y Walton M. Hancock cuando ellos estudiaron el elemento

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

### Definición y Planteamiento del Problema

En los últimos años una gran cantidad de investigadores realizaron trabajos para determinar los efectos que los movimientos de las diferentes partes del cuerpo, especialmente las manos, tenían sobre el elemento Aplicación de Presión. Sin embargo, muy poco trabajo se ha realizado para tratar de determinar qué efecto tiene sobre este elemento el uso de los pies o de las piernas. Estas extremidades son usadas para permitir que el operador tenga ambas manos libres para realizar otras tareas. Ejemplos clásicos pueden verse tanto en operaciones industriales como no industriales, especialmente con el mayor uso de pedales y de controles accionados por los pies. Algunas de las razones por las que se usa aditamentos accionados por los pies son definidas por el Profesor Ralph M. Barnes. (1,285)\*

- a. El trabajo no pasa de una mano a la otra.
- b. El trabajo terminado puede ser enviado directamente a almacenarse a través de una tolva.
- c. Los movimientos de las manos y de los ojos son mantenidos dentro del área normal de trabajo.
- d. Las manos no son usadas para sostener o manipular parte alguna de la máquina. No hay controles pequeños que buscar o manipular.

Estas son las principales razones por las que aparatos operados por los pies son usados en prensas tanto en la industria textil como en la industria mecánica, máquinas de coser y hasta en medicina.

El primer número de cada referencia indica el número de la Bibliografía; el segundo número se refiere a la primera página pertinente de la citada referencia.



**TM** "Apply Pressure". Ellos lo definieron como:

Aplicación de Presión es el período de tiempo en el cual una fuerza muscular creciente está siendo aplicada sobre un objeto u objetos y ningún movimiento ocurre. (13,35)

Finalmente, en los "Work Factor Time Standards", el término Tiempo Equivalente es definido como:

El tiempo requerido para aplicar presión, sin que se logre ningún desplazamiento, pero los músculos se tienen que tensar o flexionar. (10,316)

#### Aplicación de Presión: Trabajos Previos

Maynard, Stegemerten y Schwab<sup>(7,71)</sup> definieron en su libro a este término que originalmente fué llamado "Ajuste Final" y le fué dado un valor de 16.2 TMU (1 TMU equivale a 0.00001 de hora). Este valor fué encontrado durante la operación de ajustar tornillos cuando una considerable presión fué aplicada por un operador sobre el tornillo pero ningún desplazamiento ocurría.

Experimentos posteriores demostraron que no solamente en movimientos en que haya que poner tornillos dentro de una superficie se encontraba presente el elemento Aplicación de Presión, sino cuando un operador estaba jalando o empujando un objeto el mismo elemento se encontraba presente.

Ellos también definieron que este elemento puede fácilmente pasar desapercibido a observadores inexpertos porque aparece como "una pequeña pausa o vacilación seguida por una aplicación de fuerza bastante grande".<sup>(7,72)</sup>

Después de ciertos experimentos se notó que una retoma estaba incluida en este tiempo primario de Aplicación de Presión. Subsecuentemente fué necesario restar del tiempo original de

16.2 TMU el tiempo o el valor de tiempo correspondiente a esta re-  
toma, que era de 5.6 TMU para obtener un valor de 10.6 TMU.

Después de este primer intento para establecer el valor  
real de este elemento, ninguna investigación fué realizada hasta  
que se fundó la "MTM Association for Standards and Research".

Biel-Nielsen y Lang<sup>(12,13)</sup> en su estudio encontraron que  
la Aplicación de Presión precede a la rotura de resistencia.  
Ellos midieron el tiempo para la Aplicación de Presión acompañado  
de un elemento de desembrague o desenganche y encontraron que era  
menor que 10.6 TMU.

Después de evaluar su data encontraron que un valor de  
5.4 TMU era lo más indicado para la Aplicación de Presión. En sus  
conclusiones escribieron que:

El elemento Aplicación de Presión debe recibir un  
estudio posterior para clasificar exactamente la pre-  
sión en la Teoría del Desembrague. La falta de un  
límite entre los diferentes casos de Aplicación de  
Presión era lo que causaba este gran error en los  
tests en -----(12,28)

David L. Raphael en su estudio encontró algunas carac-  
terísticas interesantes sobre la Aplicación de Presión. A pesar  
de que fueron descubiertas cuando movimientos manuales se llevaban  
a cabo, probablemente ellas pueden aplicarse también a los movi-  
mientos de los pies. El definió que los movimientos manuales con  
peso están divididos en dos componentes:

- A. Estático - el peso del objeto a ser movido es  
controlado por el sistema muscular  
de la mano. Esta es una caracterís-  
tica de la contracción isométrica de  
los músculos.

Contracciones isométricas son en las cuales la longitud del múscu-  
lo permanece constante a pesar del aumento en el peso que soportan.

B. Dinámico - el objeto es transportado de un lugar a otro. Esto se logra por un movimiento de la mano como resultado de una contracción isotónica de los músculos.

Contracciones isotónicas son en las que la longitud del músculo es acortado mientras que el peso que soporta permanece el mismo.

Raphael<sup>(16)</sup> también definió que la Aplicación de Presión no era otra cosa que la medida del componente estático citado líneas arriba y que el tiempo para la Aplicación de Presión era variable. Su investigación no continuó más allá de estas definiciones debido a que no estaban dentro del tópico principal de su investigación.

Después del trabajo de Raphael, Goodman y Foulke<sup>(14)</sup> comenzaron a hacer investigaciones en este campo. Su investigación es el punto de partida para el presente estudio, ya que una instrumentación similar a la de ellos es la que va a usarse. La data obtenida fué registrada en un "Sanborn Recorder" de dos canales. Debido a que "Aplicación de Presión" implica la relación de fuerza contra tiempo, la fuerza fué registrada como una función del tiempo empleando un medidor de deformaciones a base de resistencias eléctricas.

Posteriormente Goodman<sup>(15)</sup> reportó sobre la continuación de su investigación y explicó porqué después de un estudio de laboratorio un estudio industrial era necesario. Ella revisó su primer artículo sobre esta área, explicó la manera en la cual la data fué obtenida, las variables consideradas y la manera en la cual los diferentes operadores performaron sus operaciones.

El trabajo de Foulke y Hancock<sup>(13)</sup> fué un estudio industrial del elemento "Aplicación de Presión", y es la continuación

En sus conclusiones ellos dijeron:

1. -d. - El tiempo para Aplicación de Presión debe ser el del componente estático del movimiento con peso hasta 10 lbs. y que un valor de 4.0 TMU sea establecido para todas las fuerzas que sobrepasen 10 lbs. (13,35)

En sus conclusiones, ellos siguieron la pauta establecida por los otros investigadores y rechazaron el valor original de Maynard, Stegemerten y Schwab. (7)

El trabajo más reciente en este campo ha sido realizado por Arturo Infante<sup>(18)</sup> quien usó un equipo similar al de Goodman y Foulke.<sup>(14)</sup> El encontró que para diferentes movimientos de la mano y de las diferentes partes de la misma, existían valores diferentes. Estos valores son gobernados principalmente por la Parte de la Mano envuelta en la operación y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión.

Después de una revisión de todos estos trabajos, inmediatamente una duda surge: Son los tiempos para la Aplicación de Presión constantes?, o varían con los parámetros de: la Distancia Recorrida, el Peso, la Posición del Operador, la Parte del Cuerpo que Ejerce la Presión, etc.

### Objetivos del Estudio

Los objetivos específicos de este estudio son:

1. Investigar la naturaleza del elemento Aplicación de Presión en relación a los movimientos de las extremidades inferiores.
2. Determinar si los cuatro factores: Fuerza de Resistencia, Posición del Operador, Distancia Recorrida Después de -- Aplicación de Presión y Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo

La Presión, tienen algún efecto sobre la performance del elemento.

3. Si estos factores son significativos, determinar las funciones en relación a los tiempos para los diferentes niveles de los factores.

4. Descubrir cualquier interacción que exista entre los factores arriba mencionados.

## CAPITULO II

### INSTRUMENTACION

#### Instrumentación Usada en el Estudio

Una de las decisiones más importantes en este estudio fue la de decidir qué instrumento debía ser construido para obtener la información necesaria.

Tomando el trabajo de Goodman y Foulke<sup>(14)</sup> como el punto de partida, se decidió que información cualitativa y cuantitativa iba a ser necesaria. La información cualitativa indicaría la fuerza aplicada por el sujeto y la cuantitativa indicaría el punto de inicio y de terminación de la presión.

La principal razón para el uso de estos dos tipos de información es que la data cuantitativa fallaba en determinar el momento en que la Aplicación de Presión comenzaba. Determinaba únicamente el punto final. La data cualitativa se usó para determinar este punto inicial.

Con el fin de obtener toda esta información el instrumento que se construyó consistió de una armazón de acero que servía como soporte a un sistema de palancas y que fue una modificación del equipo usado por Arturo Infante<sup>(18)</sup>. Este equipo puede ser visto en las Fig. 1 y 2.

El equipo trabajaba de la siguiente manera: la palanca, que se indica sombreada en la Fig. 2, descansa sobre el Tope A mientras está en su posición de descanso. Cuando el operador aplica presión sobre el pedal, la palanca gira sobre el punto P haciendo que el extremo desde el cual las pesas son colgadas se mueva

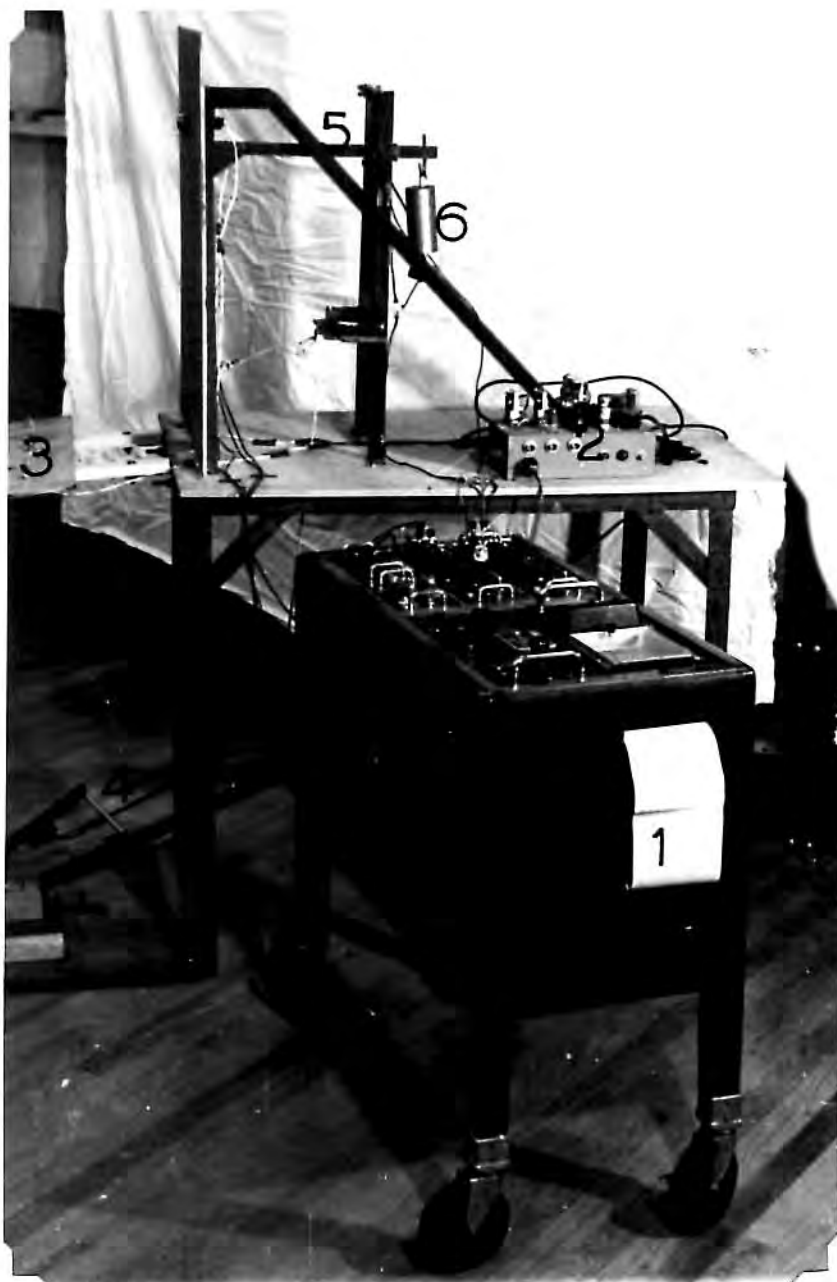


Fig. 1 Instrumentación

**Tabla 1** DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS DE LA FIG. 1

<b>Número</b>	<b>Nombre</b>
1	Sanborn Recorder
2	Detector de Toque
3	Tablero de Control
4	Pedal
5	Palanca
6	Carga



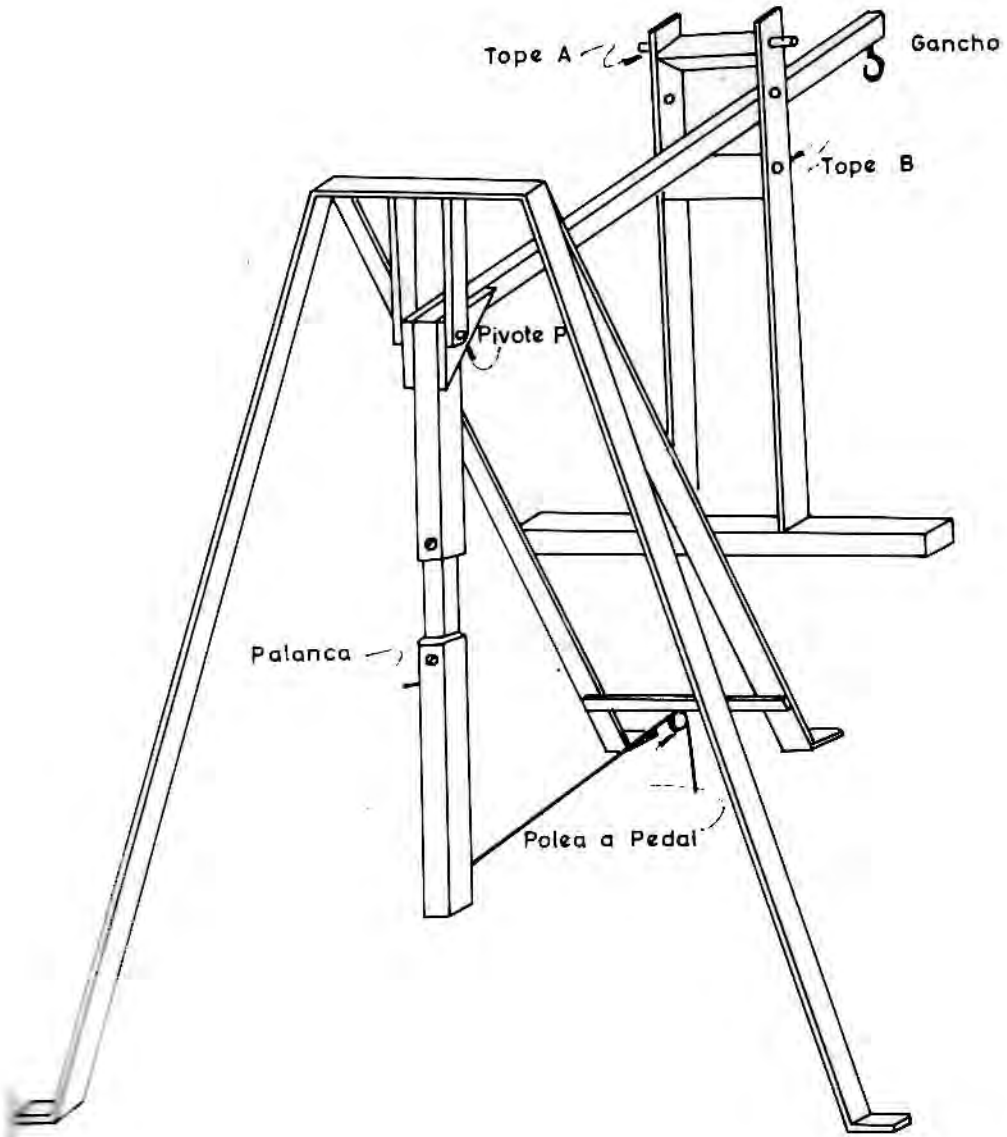


Fig.2 Equipo Usado

hacia arriba hasta que alcance al Tope B. El Tope B es movible y permite dos recorridos para la palanca: uno de una pulgada y el otro de cinco pulgadas. Una vez que el operador disminuye la presión sobre el pedal, la palanca regresa a su posición original.

### Construcción del Equipo

Como se indicó líneas arriba, el equipo consistía de una armazón de acero que sostenía la palanca.

La palanca, como se ve en las Figs. 3 y 4, fué construida de una barra de acero de  $3/4 \times 3/4$  de pulgada. Consistía de dos brazos de igual longitud (15 pulgadas) soldadas en un ángulo de 90 grados.

Con el objeto de tener un área de esfuerzo máximo, el brazo vertical fué construido de tres piezas de acero. Dos secciones iguales de  $3/4 \times 3/4$  y 6 pulgadas de longitud fueron empernadas a una sección donde el esfuerzo estaba concentrado, construida de una plancha de acero de  $3/16 \times 1$  pulgada y con una longitud de 3 pulgadas. A una pulgada del borde inferior del brazo vertical un pasador fué colocado. Este pasador fué usado para conectar el cable que iba al pedal. Un gancho fué entornillado a una pulgada del extremo horizontal del brazo para servir como colgador para los diferentes pesos que iban a ser usados.

La Fig. 5 ilustra la unión de los brazos horizontales y verticales de la palanca. Aquí dos planchas triangulares de acero fueron soldadas, una a cada lado con el objeto de aumentar la rigidez del ensamblaje.

Un pequeño agujero fué taladrado a través de las planchas y de la palanca, y dos pequeños rodamientos de  $1/2$  pulgada



Fig. 3 La Palanca.



Fig. 4 La Palanca

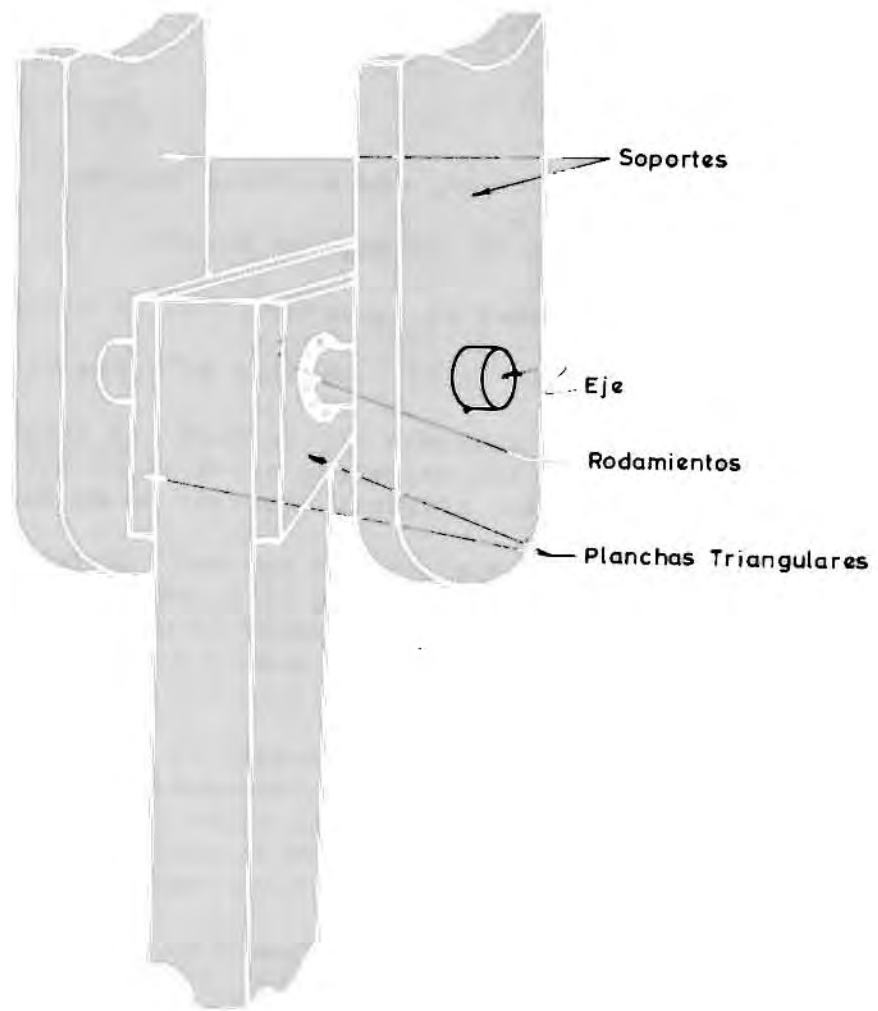


Fig.5 El Pivote

de diámetro exterior fueron presionados dentro de los huecos en cada plancha. Un eje fué insertado a través de los rodamientos y sus puntas fueron presionadas dentro de los huecos taladrados para tal efecto en los dos soportes.

### Los Pedales

Uno de los aspectos más importantes en la construcción del equipo fué el diseño del pedal. El Profesor Ralph Barnes<sup>(11)</sup> hizo un estudio en la Universidad de Iowa en el que consideró cinco tipos diferentes de pedales: (Fig. 6)

Pedal 1. Todo el pie descansa sobre el pedal con un tope en la parte posterior del pedal que mantiene al pie en la correcta posición sobre el mismo.

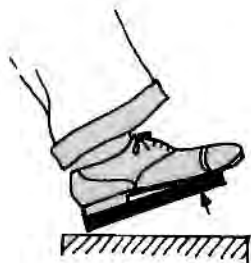
Pedal 2. Con una bisagra situada en la parte delantera del pie y la parte posterior del talón coincidiendo con el término del pedal. La bisagra está sujeta a un bloque situado a cuatro pulgadas encima del nivel del piso.

Pedal 3. La bisagra está situada debajo del arco del pie descansando el talón en un bloque estacionario. La parte delantera del talón del operador está limitada en sus movimientos por un tope de madera situado en el descanso del talón.

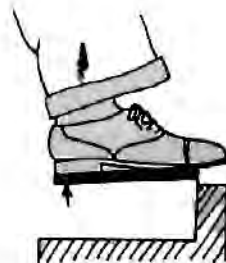
Pedal 4. La bisagra está en la misma posición que en el Pedal 2, esto es debajo de los dedos del pie. Sin embargo, el talón del operador descansa en un bloque situado en el piso. En una posición normal el pedal está situado a una pulgada sobre el nivel del talón. Esto es, la bisagra está a cinco pulgadas encima del nivel del piso. El pedal se desvía desde una pulgada encima del nivel del talón a una pulgada debajo del mismo.

Pedal 5. Sistema similar al usado en las máquinas de coser, con la bisagra debajo del arco y todo el pedal girando alrededor de este punto.

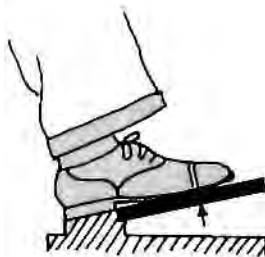
El Profesor Barnes concluyó que el pedal tipo 1 requería menos tiempo por pedaleada, y por lo tanto era el más efectivo y menos fatigante.



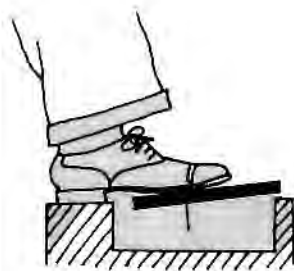
Pedal Nº 1



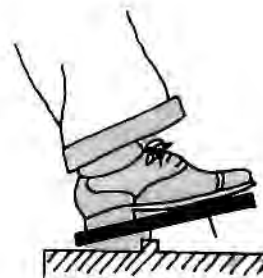
Pedal Nº 2



Pedal Nº 3



Pedal Nº 4



Pedal Nº 5

Fig. 6 Pedales

Con esto en mente, el pedal fué construido usando una plancha de acero de  $3/16$  de pulgada con 10 pulgadas de largo y  $2\ 1/2$  pulgadas de ancho asegurada por medio de una bisagra a un bloque de madera. (Fig. 7) A seis pulgadas de la bisagra, un hueco fué taladrado con un diámetro de  $3/4$  de pulgada y el interruptor para un "limit switch" fué pasado a través de él. Este "limit switch" estaba conectado a un detector de toque.

Debido a que el instrumental iba a trabajar con cargas elevadas, se consideró necesario construir un sistema reductor. Esto se logró por medio de una palanca hecha de una barra de acero de 18 pulgadas de largo con el punto de contacto con el pedal situado a 12 pulgadas de la parte más alejada de la cual el cable que venía de la palanca iba a estar conectado. Este sistema puede verse en detalle en la Fig. 8.

### El Equipo Indicador

El instrumental usado debía de permitir al investigador medir las diferentes partes del movimiento con la precisión deseada. Al mismo tiempo debería de permitir la aplicación de una gran diferencia de fuerzas y de poder señalar la diferencia de tiempo entre ellas. El único instrumento que podía llenar todos estos requisitos era el "Sanborn Recorder". Este instrumento consiste de un Puente de Wheatstone regulable y un galvanómetro que sirve para marcar el desbalance en el puente sobre un papel que se mueva a una velocidad constante.

Con el fin de registrar la información requerida, el "Sanborn Recorder" fué usado. A pesar de que ambos canales trabajan independientemente, debido a que la información es registrada





Fig. 7 El Pedal



Fig. 8 El Pedal y el Sistema Reductor

en el mismo papel, facilita el establecimiento de ciertas relaciones cronológicas entre ambos canales.

Esta información es registrada sobre un papel especial es conocido con el nombre de "Sanborn Recording Permapaper", el cual por medio de un estilete calentado se disuelve una sustancia química en la superficie del papel, dejando un trazo. Este estilete se desvía en proporción al desbalance del puente y como el papel se está moviendo a una velocidad constante, los gráficos tenidos son Fuerza contra Tiempo en un canal, y Punto de Comienzo y Fin contra Tiempo en el segundo canal.

#### Medidores de Deformación

Debido a que el interés principal era obtener información sobre la cantidad de fuerza aplicada en un momento dado y que esta pueda ser fácilmente observada, uno de los canales del "Sanborn Recorder" fué usado en conexión con dos medidores de deformación SR-4 que fueron pegados a la superficie de la sección delgada de la parte vertical de la palanca. Los medidores fueron del tipo de resistencia de alambre y pueden ser descritos como:

"Este medidor es del tamaño de una estampilla y ligeramente más pesado. Consiste de una gradúa o dibujo de alambre de pequeño diámetro pegado entre dos pedazos de papel delgado. El alambre usado tiene la propiedad de una variación lineal con respecto a la resistencia eléctrica ante el esfuerzo. Con el objeto de medir el esfuerzo en una máquina o un miembro estructural, uno o más de estos medidores de deformación son pegados a la superficie de la parte y dejados a secar. El paso siguiente es el de conectar al medidor con algún instrumento eléctrico que indicará el cambio en la resistencia, tal como un Puente Wheatstone. Una vez que esto es hecho el medidor continuará fielmente y reportará cualquier cambio en los esfuerzos ocurridos en la prueba y en la dirección del eje del medidor." (9.8-9)

La manera como estos medidores de deformación trabajan puede ser descrito como sigue: Cuando el operador presiona el pedal, acciona la palanca estando el esfuerzo al máximo en la sección delgada donde los medidores están pegados. Los terminales de los medidores de deformación están conectados a uno de los canales del registrador. Cuando los medidores detectan algún esfuerzo en resistencia eléctrica cambia y crea un desbalance en el Puente de Wheatstone que estuvo balanceado originalmente cuando ningún esfuerzo ocurría. La cantidad de desbalance es proporcional al esfuerzo y el esfuerzo es a su vez proporcional a la carga que es resultado de la cantidad de presión aplicada por el operador.

Con el fin de obtener el esfuerzo al cual el sistema trabajaba, una calibración fué hecha. Esta calibración fué lograda aplicando diferentes cargas estáticas al equipo y aplicando presiones sobre el pedal (carga dinámica) causando una desviación. Graficando esta carga estática contra la desviación, una curva fué truida que relaciona directamente la cantidad de presión aplicada por el operador y el esfuerzo que afecta a los medidores de deformación.

### Circuito Eléctrico para los Medidores de Deformación

La Fig. 9 muestra el circuito eléctrico por el cual los medidores de deformación transmitían la información al "Sanborn Recorder".

Los terminales de uno de los medidores estaban conectados a la resistencia R1 en el "Sanborn Recorder" y los terminales del otro, a la resistencia R2. Con el fin de evitar cualquier interferencia y obtener una mayor precisión un alambre blindado fué

Medidores  
de  
Deformación

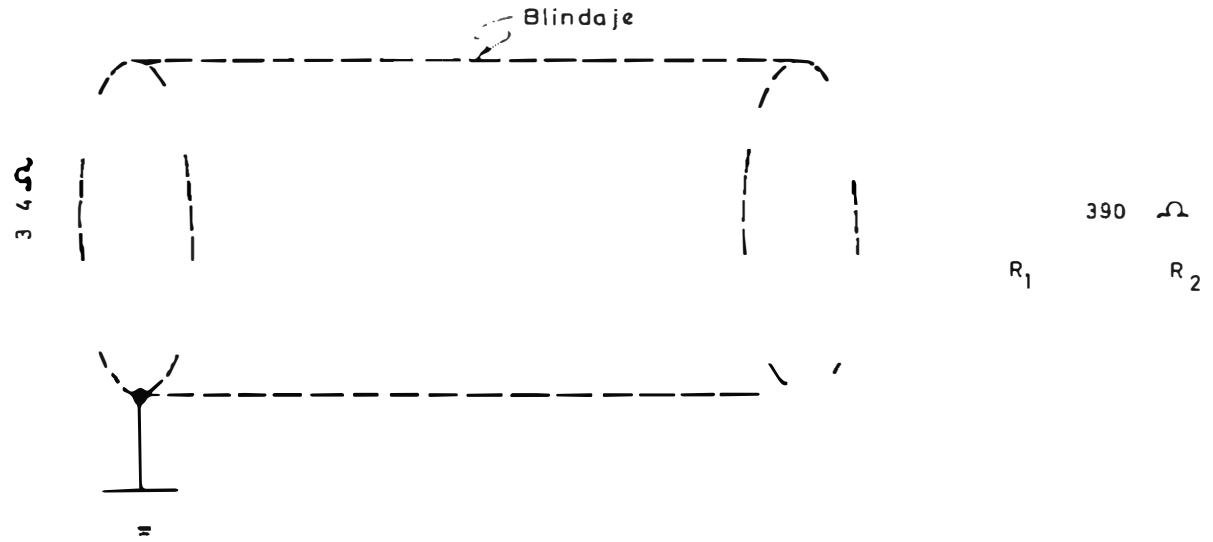


Fig.9 Circuito Eléctrico para los Medidores de Deformación

usado. Este blindaje fué unido dejando dos terminales, uno que fué conectado a tierra y el otro a  $R_1$ . A través de las tomas de entrada de  $R_1$  y  $R_2$ , fué necesario conectar una resistencia de 390 Ohms con el objeto de balancear el puente interior del instrumento registrador.

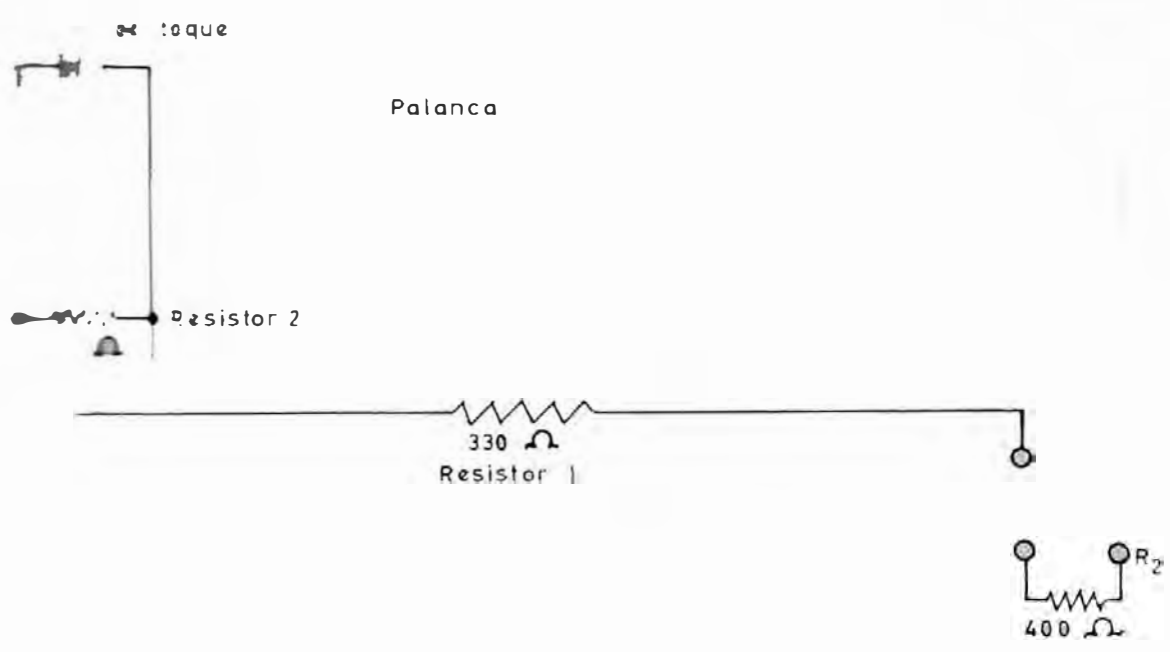
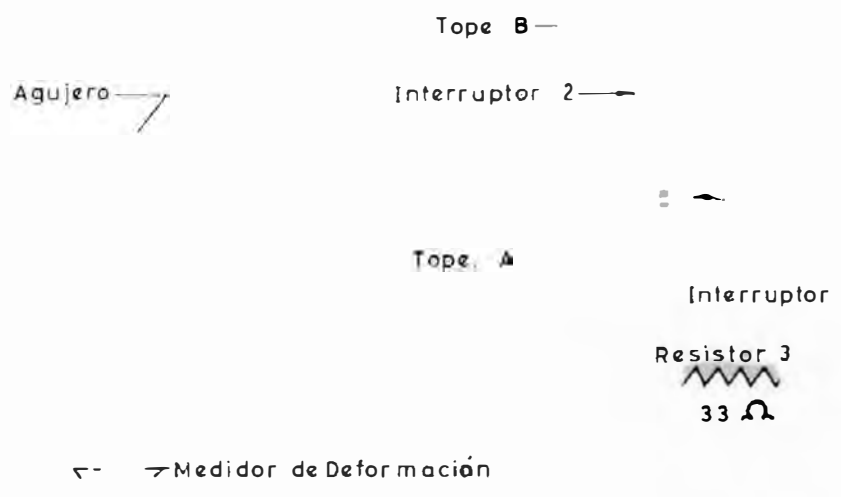
### Circuito para los Puntos de Comienzo y Fin de la Operación

Estos dos puntos eran los puntos más importantes en el gráfico, debido a que ellos medían el momento de contacto del operador con el pedal y el momento en que la palanca comenzaba a desplazarse.

Como se dijo anteriormente, un "limit switch" fué colocado en el pedal y fué conectado a un detector de toque. Este sistema indicaba el momento preciso en que el operador pisaba el pedal.

El resto del circuito eléctrico usado consistía de tres resistencias y dos interruptores de contacto. Como puede verse en la Fig. 10, un interruptor de contacto fué situado en el Tope A y el otro en el Tope B. Dos resistencias de 33 Ohms<sub>1</sub> fueron conectadas en serie, una con el detector de toque y otra ligando a los interruptores 1 y 2 situados en los Topes A y B. Una resistencia de 330 Ohms fué conectada en serie delante del detector de toque. La Fig. 11 muestra la caja de resistencia y todas sus conexiones.

Con el fin de balancear el puente, un potenciómetro fué conectado a través de la toma  $R_2$  en el "Sanborn Recorder". Los terminales de los circuitos eléctricos fueron conectados a la toma



Circuito eléctrico para los Interruptores de Contacto.

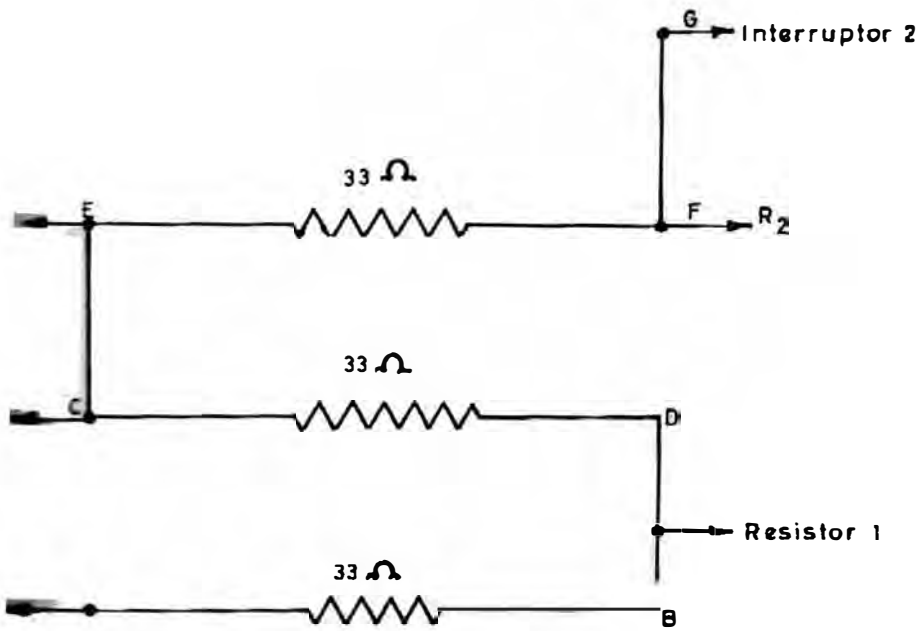


Fig. 11 Caja de Resistencias

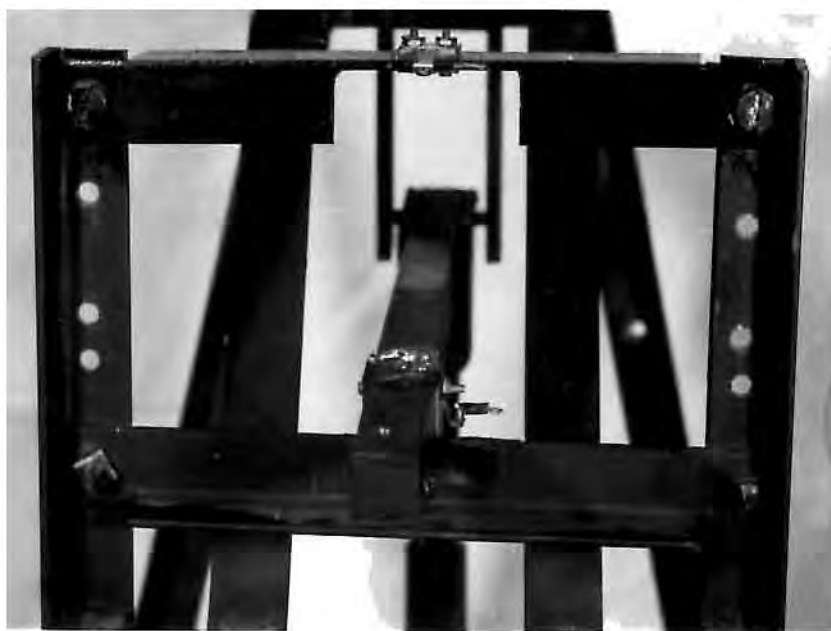


Más información acerca del instrumento electrónico así como de los diagramas de los circuitos puede encontrarse en la tesis del Sr. Juan Rafael Cárdenas, "The Influence of Combined Motions on Motion Time", The Pennsylvania State University, Enero, 1957.

El circuito eléctrico para los puntos de inicio y de fin de movimiento trabajaba de la siguiente manera: Cuando el operador no pisaba el pedal la palanca estaba descansando en el Tope A, (Fig. 12). La corriente que venía a través de  $R_1$  fluía a través de la resistencia de 330 Ohms, llamada resistencia 1, y luego la corriente fluía a través de la resistencia 2 de 33 Ohms, con el fin de llegar al interruptor 1 en el Tope A. Debido a que este interruptor estaba cerrado, la corriente regresaba al "Sanborn" por intermedio de  $R_1$  y de esta manera el Puente de Wheatstone dentro del "Sanborn" permanecía balanceado.

Tan pronto como el operador pisaba el pedal, cerraba el "limit switch" mandando un impulso al detector de toque. Acortando este relai causaba una variación en la resistencia del circuito, creando un desbalance en el puente y produciendo una desviación del estilete. Esta desviación indicaba el momento en el cual el operador pisaba el pedal.

El operador comenzaba a aplicar presión sobre el pedal hasta vencer la fuerza de resistencia y causaba el desplazamiento de la palanca rompiendo de esta manera el contacto del interruptor 1 en el Tope A. La corriente tenía que fluir a través de la otra resistencia de 33 Ohms (resistencia 3) produciendo otra desviación del estilete debido al cambio en el balance del puente. Esto era la indicación del inicio del movimiento.



**Fig. 12** La Palanca Descansando Sobre el Tope A  
(Posición de Descanso)

Cuando la palanca llegaba al fin de su recorrido, activaba el interruptor 2 en el Tope B. Debido a que cerraba la resistencia 3 en el circuito, el desbalance en el puente era el original causando que el estilete se desvíe nuevamente, mostrando en este momento el fin del recorrido. El operador dejaba de presionar el pedal y el movimiento de retorno comenzaba.

Cuando la palanca llegaba a su posición original, cerraba el interruptor 1 y causaba una vez más un desbalance en el puente y deflectaba el estilete con lo que se mostraba el punto final del movimiento de retorno.

Finalmente el operador dejaba de pisar el pedal deactivando el "limit switch". Esto causaba que el detector de toque abriera el circuito y lo retornara a sus condiciones iniciales de balance regresando el estilete a su posición original, con lo que se marcaba el fin del movimiento.

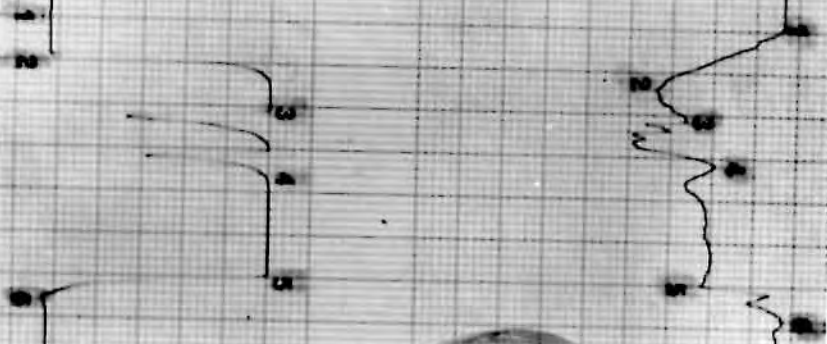
### Registro

Una vez que el instrumental estuvo calibrado el procedimiento de registro de la información comenzó. El canal uno registraba la fuerza aplicada en un determinado momento mientras que el canal dos registraba los puntos de inicio y de fin del movimiento y el contacto del operador con el pedal.

La Fig. 13 nos muestra un registro típico y los diferentes puntos que fueron obtenidos. Punto 1 en el canal 1 representa el momento en que el operador pisaba el pedal y comenzaba a aplicar presión. Punto 2 en el canal 2 indica el instante en que la fuerza vencía la resistencia causada por el peso estático. El tiempo entre estos dos puntos es el considerado en este estudio.

CHANNEL 1

CHANNEL 2



Punto 3 muestra el fin de transporte o recorrido, esto es cuando la palanca alcanzaba al Tope B. Punto 4 indica el momento de inicio para el retorno. Entre el punto 3 y 4 ocurre lo que se llama el "Dwell". Cuando la palanca alcanza el fin de su movimiento, por razones fisiológicas el operador continúa presionando el pedal un instante más antes de iniciar el retorno. Punto 5 indica el fin del movimiento de retorno. Punto 6 indica el momento en que el operador desciende del pedal y rompe el contacto con el "limit switch".

Debido a que el papel se desplazaba a una velocidad constante, se pudo determinar que cada cuadrado pequeño del papel representaba 0.000011 de hora y por lo consiguiente el tiempo buscado fué obtenido contando los cuadraditos y multiplicando por 100011.

## CAPITULO III

### REGISTRO DE LA INFORMACION

Con el fin de obtener la información pertinente sobre los tiempos de performance de la Aplicación de la Presión ejercida por los pies, cuatro variables fueron usadas:

1. Posición del Operador cuando Aplicaba la Presión.
2. Fuerza de Resistencia
3. Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión
4. Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión.

#### Posición del Operador

Esta variable fué usada porque se consideró que la posición en la cual estaba el operador al realizar sus operaciones, afectaba considerablemente el tiempo. Dos posiciones fueron usadas y son las que se encuentran con más frecuencia en este tipo de aplicaciones. Estas fueron: (1) parado, y (2) sentado.

#### Fuerza de Resistencia

La fuerza que el operador tiene que vencer también afecta el tiempo de performance. Por esta razón esta variable fué usada.

La fuerza fué usada utilizando cuatro niveles diferentes, divididos a intervalos igualmente espaciados para facilitar la evaluación estadística de los resultados. Los niveles eran:

1. Una libra de resistencia
2. Seis libras de resistencia
3. Once libras de resistencia
4. Dieciseis libras de resistencia

Como fué dicho anteriormente, estos niveles fueron obtenidos por intermedio de pesas que se colgaban de la palanca.

#### Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión

De investigaciones anteriores, se encontró que la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión, tenía un efecto significativo en el tiempo y por esta razón fué incluida en el experimento. Dos niveles fueron usados en relación con esta variable: una pulgada y cinco pulgadas. Estos niveles fueron obtenidos cambiando la posición del Tope B.

#### Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión

Ninguna mención fué encontrada en los trabajos previos al respecto de esta variable. Por esta razón fué incluida en el experimento.

Dos niveles fueron considerados con relación a ella. Uno fué llamado "en posición", es decir el operador mantenía su pie sobre el pedal mientras que realizaba ciertas operaciones manuales. La otra posición fué llamada "en movimiento" en la cual el operador mantenía su pie a cinco pulgadas del pedal y a una señal dada movía su pierna con el objeto de pisar el pedal causando de esta manera algunas reacciones fisiológicas en los músculos que cierran sus extremidades inferiores.

### perador

Debido a la diferencia entre los individuos y a las reacciones humanas que están involucradas en este tipo de experimentos, la variable "operador" fué excluida. Trabajos previos realizados por investigadores como Infante, Goodman, Raphael, etc. establecieron que esta variable es enormemente significativa. Sin embargo, ninguna conclusión exacta puede obtenerse a menos que se use una gran población.

Para disminuir la significancia que este factor pueda tener sobre los resultados obtenidos, se tomó un promedio de las lecturas obtenidas por cada operador.

Los operadores fueron cinco personas diferentes, escogidas entre los estudiantes graduados del Departamento de Ingeniería Industrial de la "Pennsylvania State University". Una descripción completa de los operadores está incluida en el Apéndice F.

### Registro de la Información

La información fué recolectada usando un diseño de bloque al azar, considerando como bloque a los diferentes operadores. Con el fin de variar las secuencias de las operaciones performadas por cada operador, la computadora digital I.B.M. 7074 fué usada con un programa diseñado especialmente para el caso.

Cinco juegos diferentes de secuencias fueron obtenidas por las combinaciones posibles de los factores: Posición del Operador, Fuerza de Resistencia, Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión y Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión. El programa para la computadora y las secuencias están presentados en el Apéndice B.



La secuencia en la cual los operadores performaban fué también seleccionada al azar. Estas fueron como sigue: el operador uno fué el primero en hacer sus operaciones seguido por el operador cuatro, operador cinco y operador dos, y finalmente el operador tres.

Cada operador recibió una explicación verbal de lo que suponía que debía hacer y cuales eran los resultados que se pensaba obtener.

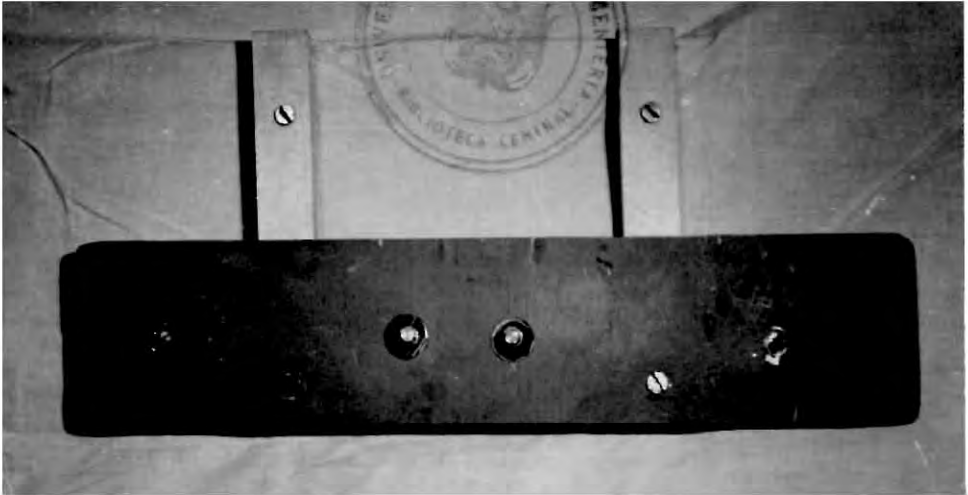
Después de esta pequeña explicación, el operador fué llevado al cuarto donde estaba situado el instrumental. La Fig. 14 muestra el área de trabajo. Esta consistía de una plancha emperrada delante del soporte que estaba sosteniendo a la palanca, con el objeto de esconder la instrumentación y permitir que el operador se concentre sin ninguna distracción causada por el desplazamiento de las palancas. En medio de esta tabla había una luz roja. Esta luz era activada por medio de dos interruptores y dos botones que estaban situados en una tabla paralela a la descrita anteriormente y a diez pulgadas delante de ella. La Fig. 15 muestra esta disposición.

El operador estaba o bien sentado o bien parado delante de la instrumentación con su pie tanto en el pedal o a cinco pulgadas en un tope de madera que servía como un indicador de distancia.

Cuando el operador comenzaba su ciclo de trabajo activaba con ambas manos simultáneamente ambos interruptores. De ahí movía sus manos y presionaba los botones en mitad de la tabla. Esto que la luz roja en el panel se prenda y dé la señal requerida para presionar el pedal, hasta que la palanca alcanzaba el



**Fig. 14** Area de Trabajo



**Fig. 15** Distribución del Tablero de Control

Tope B, restringiendo de esta manera el movimiento del pedal. El operador entonces permitía el retorno del pedal a su posición original. Después de esto dejaba de hacer presión sobre el pedal y simultáneamente presionaba los dos botones en la tabla y movía sus manos a los interruptores. Después de esta operación, repetía el ciclo nuevamente.

El propósito de estas operaciones simultáneas era el siguiente: Aplicación de Presión aparece generalmente como un movimiento dentro de una serie. Se consideró necesario distraer la atención del operador de la instrumentación controlada por los pies y hacerlo concentrar en la luz, lo que se obtuvo por medio de estos interruptores y botones.

Para minimizar el efecto del aprendizaje, al operador se le permitía hacer 10 ciclos y de ahí sin ninguna indicación posterior hacía 5 ciclos más, los cuales eran registrados. De estos últimos 5 ciclos los del medio eran los escogidos con el fin de eliminar cualquier variación causada por influencias externas al comienzo del registro. Sin embargo, si alguno de estos tres ciclos escogidos estaban incorrectos, el quinto era el escogido para reemplazar al erróneo.

La información obtenida se encuentra tabulada en el Apéndice B. Todas las observaciones están dadas en 0.000011 de error y están presentadas en un tableau para un Análisis de Varianza de cuatro factores.

Con el fin de abreviar y aclarar la explicación del análisis estadístico y los resultados obtenidos, las siguientes letras y números van a ser usados para identificar las variables y niveles de las variables:

FACTOR A	<u>RESISTENCIA</u>
	A1 Una libra
	A2 Seis libras
	A3 Once libras
	A4 Dieciseis libras
FACTOR B	<u>POSICION</u>
	B1 Parado
	B2 Sentado
FACTOR C	<u>DISTANCIA</u> (Recorrida Después de la Aplicación de Presión)
	C1 Una pulgada
	C2 Cinco pulgadas
FACTOR D	<u>DISTANCIA</u> (Recorrida por el Pie que Ejerce la Presión)
	D1 Ninguna
	D2 Cinco pulgadas

El número total de observaciones tomadas por operador fueron  $4 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$  observaciones; además se hicieron tres repeticiones por observación, lo que nos da un total de 96 observaciones.

#### Análisis Estadístico - Análisis de Varianza

Se consideró que la mejor técnica para analizar la información obtenida era el Análisis de Varianza, y por lo tanto la muestra obtenida originalmente fué arreglada como un Análisis de Varianza de cuatro factores con repeticiones.

Mr. David L. Raphael en su informe, "El Estudio de los Movimientos Manuales con Peso", explica claramente esta técnica estadística:

"El Análisis de Varianza es básicamente un método para clasificar de la información obtenida del instrumental, los varios componentes que causan su variación. Habiendo separado la variación en sus componentes, la variación debida a cada componente es entonces analizada para comprobar si es significativamente mayor que la que puede ocurrir únicamente por el azar. En otras palabras, probar si la variación en la data debido a la influencia de una de las variables independientes es significativamente más grande que la variación de la data debida a inevitables errores experimentales. Cuando esta variación es significativa, se puede concluir que la variable independiente tiene un efecto real en la data."

"La variación se prueba por medio de la distribución F. Para cada componente de variación un valor F es computado. Este valor es comparado al valor F esperado. En general, el valor computado es comparado con un valor F tabulado que puede esperarse al mismo nivel de probabilidad. Por ejemplo, un nivel de probabilidad de 5% puede ser escogido. Las tablas de la distribución F nos van a dar un valor específico para ella. Si la variable independiente no tiene un efecto real en la data, 95% de los valores F computados de la data deben de ser menores que este valor escogido. Solamente 5% de los valores computados serán más grandes. Si el valor actual del F computado por nuestra data experimental es mayor, nosotros podemos llamarlo significativo, debido a que una ocurrencia semejante va a ser muy rara si es que la variable independiente no ha tenido un efecto real. Este valor solamente ocurrirá 5% del tiempo debido al azar, si es que la variable independiente no tiene un efecto en la información. En este caso nosotros tenderemos a rechazar esta idea y aceptar la idea que la variable si tiene un efecto en la información obtenida y la hace variar significativamente."(16,14)

Antes de continuar con la explicación de las técnicas estadísticas usadas, es importante establecer que se asumió que la información obtenida es tomada al azar de una población normal y que cada juego de datos tiene su propio promedio (diferente o igual al promedio de las otras datas) y que las varianzas son igual para toda la población.

En el caso de obtenerse una diferencia significativa, análisis estadísticos posteriores fueron llevados a cabo con el propósito de determinar las relaciones entre las variables dependientes e independientes. En estos casos, la variable dependiente siempre era el tiempo de performance de la aplicación de presión, mientras que las variables independientes siempre eran los factores considerados para la experimentación.

### Otros Análisis

La relación entre las diferentes variables es una función determinada (lineal, cuadrática, cúbica, etc.). Con el fin de hallar esta función, un análisis de regresión fué usado. Este análisis nos provee de los medios necesarios para hallar la relación funcional de las diferentes variables continuas.

Con el fin de hallar la naturaleza de la ecuación, comparaciones ortogonales fueron usadas para comprobar si es que este efecto funcional era lineal, cuadrático o cúbico. (3,123)

El método general usado para estimar las curvas de regresión fué el método de los mínimos cuadrados. Esta curva es aquella en que la suma de los cuadrados de las desviaciones de la data con respecto a la ecuación hallada va a ser mínima.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION OBTENIDA DEL EQUIPO

Con el fin de analizar la información obtenida, se tomó el tiempo promedio de los operadores bajo cada juego de condiciones. Estos datos han sido tabulados en la Tabla 2.

El primer paso en el análisis fué investigar las características de los factores: Fuerza de Resistencia, Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión, Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión y Posición del Operador. Los factores Fuerza de Resistencia, Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión y Posición del Operador fueron considerados como "Efectos Fijos". Esto es, ellos pueden repetirse exactamente en cualquier investigación bajo las mismas condiciones, debido a que están siendo reguladas por el equipo y no por el operador.

El cuarto factor, Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión, fué encontrado que era de "Efectos Variables", esto es que depende principalmente del operador. Debido a que buscaba la posición más confortable del operador, esta posición implicaba una posición particular para cada registro. Por lo tanto, ha sido y va a ser imposible repetir la secuencia de experimentos bajo las mismas condiciones.

Por esta razón la información obtenida fué dividida en un Análisis de Varianza de Tres Factores. Un análisis para el operador teniendo su pie sobre el pedal (sin desplazamiento) y el otro análisis cuando el pie estaba situado a cinco pulgadas del



Tabla 2 PROMEDIOS OBTENIDOS DE LOS OPERADORES

	B <sub>1</sub>		B <sub>2</sub>	
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
A	3.76*	4.77	3.47	4.00
	4.29	4.26	3.23	3.60
	3.67	3.99	3.43	3.80
A <sub>2</sub>	7.26	6.86	5.94	6.24
	7.54	6.54	5.86	6.20
	7.43	7.15	6.16	6.22
A <sub>3</sub>	10.36	8.27	9.52	6.29
	10.23	9.61	8.53	4.30
	9.85	9.46	9.15	1.33
A <sub>4</sub>	10.95	9.90	10.91	9.81
	10.43	9.54	11.22	9.81
	10.31	1.14	10.49	0.41
A <sub>1</sub>	2.92	3.47	2.66	3.91
	2.79	3.56	2.55	3.54
	3.05	3.41	2.68	3.27
A <sub>2</sub>	5.91	6.58	5.54	6.44
	6.42	6.73	6.20	6.31
	6.44	6.66	5.13	6.64
A <sub>3</sub>	7.39	9.46	9.16	7.89
	8.16	9.15	7.94	7.52
	7.10	9.08	9.50	8.18
A <sub>4</sub>	10.40	10.71	10.18	0.42
	9.96	10.29	10.51	9.96
	10.73	10.78	10.64	10.01

\* Tiempo en 0.000011 hr.

## Análisis <sup>T</sup>

La Tabla 3 presenta los resultados del Análisis de Varianza de tres factores para los factores Fuerza de Resistencia (Factor A), Posición del Operador (Factor B) y Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión (Factor C) con el operador manteniendo su pie sobre el pedal.

Un límite de 95% de confianza fué usado, y comparando la relación F obtenida con la F.95 tabulada, las siguientes conclusiones pueden hacerse:

Los tres factores o efectos principales son significativos, así como lo son las interacciones entre el factor Fuerza de Resistencia y los otros dos.

Como se esperaba, la Fuerza de Resistencia fué la más significativa. Para un valor tabulado de 2.92, la relación F ha sido de 756.43. La posición del operador también fué significativa, para un valor tabulado de 4.17 la relación F fué de 20.88. El tercer efecto, Distancia Movida Después de la Aplicación de Presión, tuvo una relación F de 6.42 y un valor tabulado de 4.17 y por lo tanto se puede concluir que también es significativo.

## Interacciones

La interacción de primer orden entre la Fuerza de Resistencia y la Posición del Operador, fué significativa con una relación F de 6.13 mientras que el valor tabulado es de 2.92.

Con el fin de investigar la naturaleza y causa de esta interacción, la información fué reducida por medio de promedios, a que se presenta en la Tabla 11, Apéndice C.

**Tabla 7 ANÁLISIS DE VARIANZA DE TRES FACTORES PARA LA FUERZA DE RESISTENCIA, POSICIÓN DEL OPERADOR, DISTANCIA RECORRIDA DESPUÉS DE LA APLICACION DE PRESION, CON EL OPERADOR TENIENDO EL PIE SOBRE EL PEDAL**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media al Cuadrado	Relación F	F.95
A	304.083	3	101.361	756.43*	2.92
B	2.798	1	2.798	20.88*	4.17
C	0.861	1	0.861	6.42*	4.17
A x B (Inter. 1er orden)	2.465	3	0.821	6.13*	2.92
A x C (Inter. 1er orden)	2.588	3	0.862	6.44*	2.92
B x C (Inter. 1er orden)	0.470	1	0.470	3.50*	4.17
A x B x C (Inter. 2do orden)	0.684	3	0.228	1.70	4.17
Error	4.295	32	0.134		
Total	318.246				

\* Valor Significativo

La Fig. 16 fué dibujada usando estos valores. Examinando esta figura, se observa que la mayor interacción es causada por el primer nivel (parado) del Factor B (Posición del Operador). Se hace evidente que el tiempo de performance con cargas pesadas para el primer nivel (parado) es menor que el tiempo de performance con cargas pesadas para el segundo nivel (sentado). Esto es lo contrario de lo que ocurre con cargas pequeñas. La explicación que se puede dar a este fenómeno es la siguiente:

Cuando el operador está sentado (nivel dos) la fuerza que necesita generar con el fin de vencer la resistencia es relativamente pequeña cuando la fuerza de resistencia es pequeña. Sin embargo, cuando la fuerza de resistencia aumenta, en nuestro caso sobre las once libras, parece que se hace más difícil de vencer. Este no es el caso cuando el operador está parado (nivel uno). Cuando la fuerza aumenta y se hace más difícil de vencer la fuerza de resistencia por medio de sus músculos de la pierna, el operador involuntariamente se ayuda con el peso de su cuerpo. Esta es la razón aparente por la cual hay tan poca diferencia en el tiempo de performance con once y dieciseis libras. Cuando el operador está sentado, el peso de su cuerpo es usado principalmente para mantenerlo en esa posición, y muy poco va a ayudar a los músculos de sus piernas.

La interacción de primer orden entre la Fuerza de Resistencia y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión fué también significativa. Para una relación F de 6.44 el valor tabulado es de 2.92. Para investigar la naturaleza de esta interacción la información fué reducida por medio de promedios a la Tabla 12, Apéndice C.

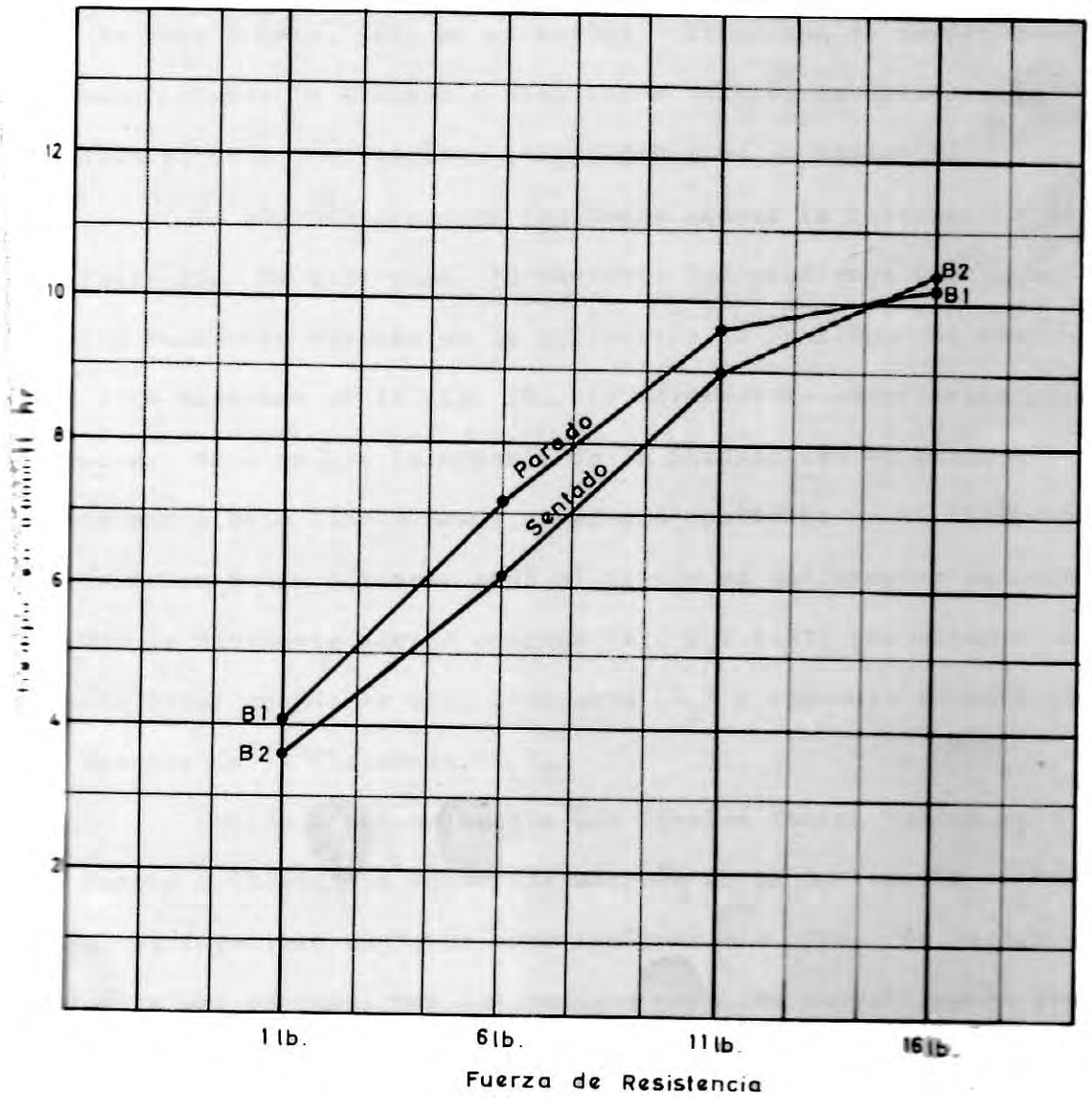


Fig. 16 Interacción de Primer Orden entre la Fuerza de Resistencia y la Posición del Operador

La Fig. 17 fué dibujada usando estos valores. La curva muestra que la interacción es causada por el cambio en el tiempo de performance que ocurre entre una y seis libras. Con una libra de peso, el tiempo de performance es menor cuando la distancia desplazada después de aplicar la presión es de una pulgada (nivel uno para el Factor C), pero cuando la carga estática es mayor de seis libras, esto no es verdad. El tiempo de performance es menor cuando la distancia desplazada después de aplicada la presión es de cinco pulgadas (nivel dos para el Factor C).

Un segundo diagrama fué hecho usando la información de la Tabla 12. En este caso, la variable independiente fué la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión. Al examinar este diagrama en la Fig. 18, una interesante observación puede hacerse. Esta es que la mayoría de la interacción es causada entre una y seis libras donde un efecto contrario en el tiempo de performance puede notarse; aquí el tiempo de performance decrece cuando la distancia movida aumenta ( $A_3, A_4$ ) hasta que alcanza un cierto nivel cuando es casi constante ( $A_2$ ) y entonces aumenta con el aumento de la distancia ( $A_1$ ).

Debido a que solamente dos niveles fueron usados para el Factor C (Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión) es imposible explorar este fenómeno más allá. Es factible que este sea un campo muy interesante para una investigación futura.

Debido a que las otras interacciones no fueron significativas, ninguna investigación concerniendo ellas fué llevada a cabo.

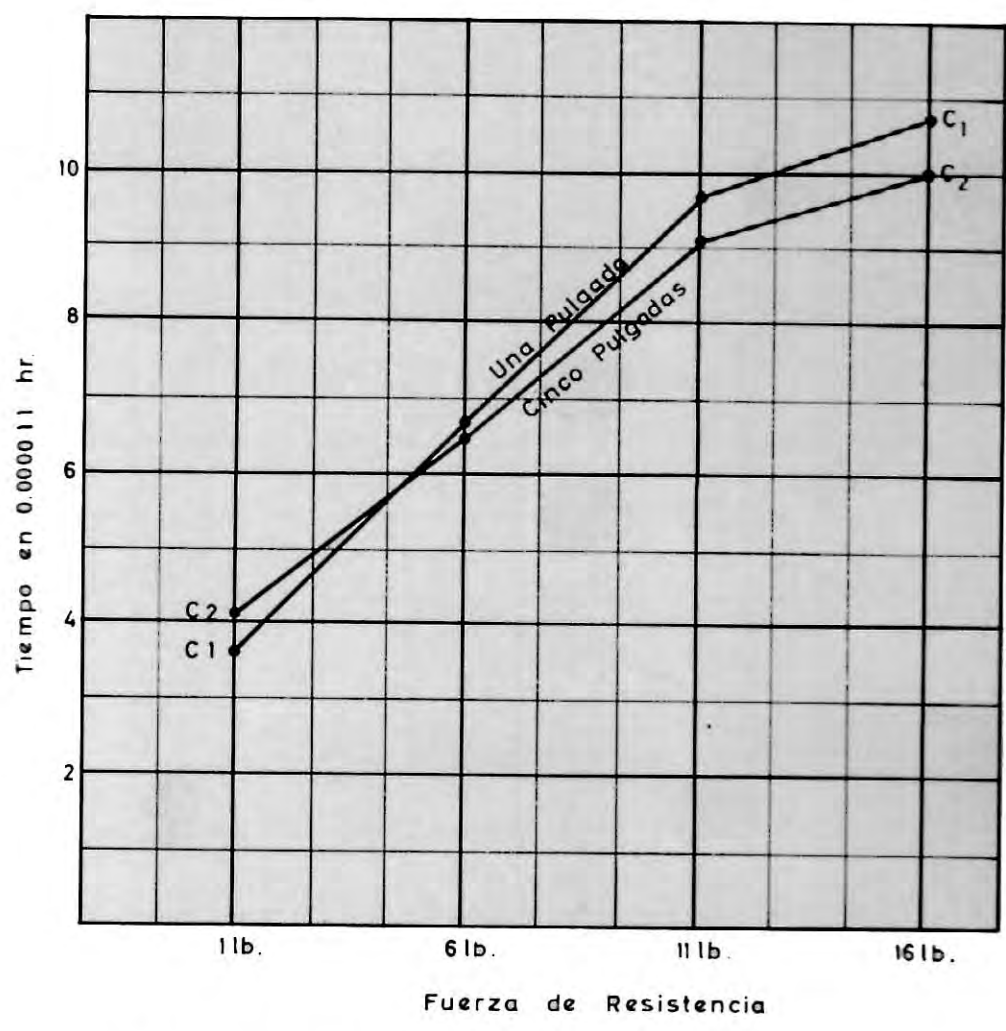


Fig.17 Interacción de Primer Orden entre la Fuerza de la Resistencia y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión.

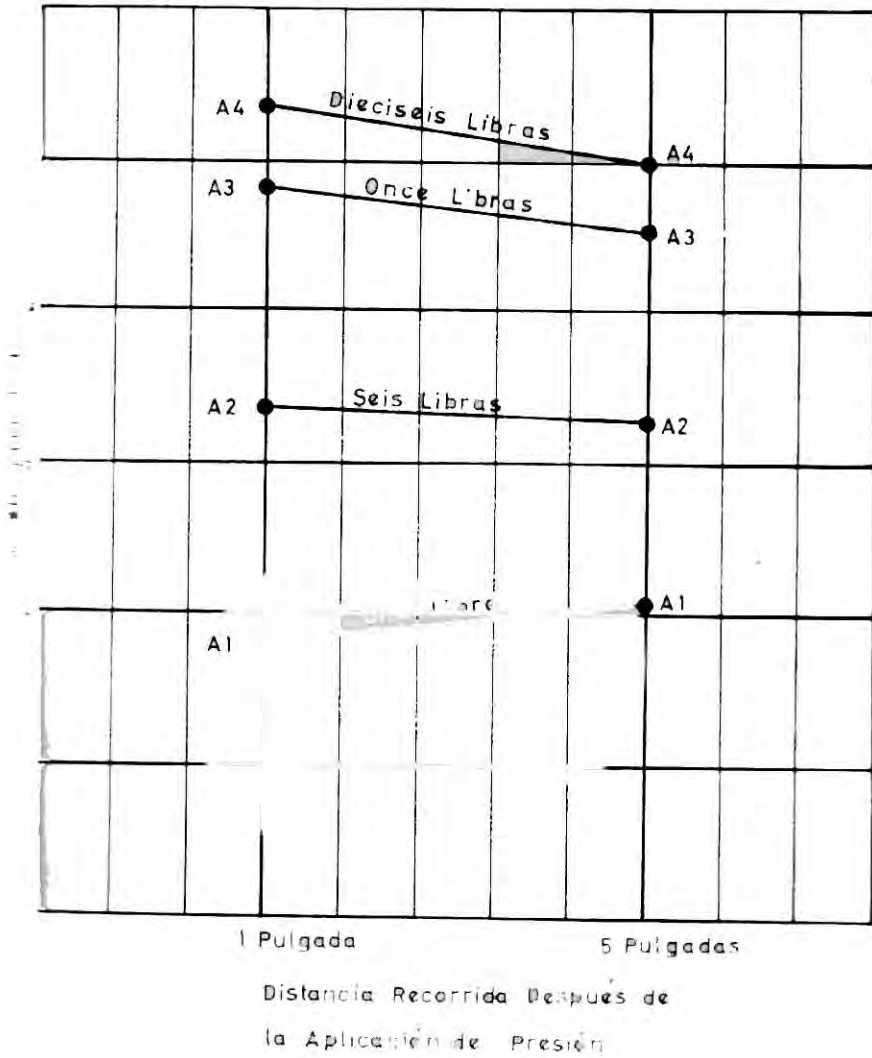


Fig. 16 Interacción de Primer Orden entre la Fuerza de Resistencia y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión



## Análisis II

La Tabla 4 da los resultados de los Análisis de Varianza para los factores de Fuerza de Resistencia (Factor A), Posición del Operador (Factor B) y Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión (Factor C). En este caso el operador colocó su pie a cinco pulgadas laterales del pedal y a una señal dada movió su pie hacia el pedal con el fin de completar la tarea requerida.

Las siguientes conclusiones fueron hechas después de la comparación de los valores F obtenidos con los F tabulados usando un límite de 95% de confianza.

Como se esperaba, la Fuerza de Resistencia fué la más significativa de los factores estudiados, con una relación F de 911.46 y un F.95 tabulado de 2.92. La Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión fué también significativa con un F.95 tabulado de 4.17 mientras que la relación F era de 16.56.

## Interacciones

La interacción de primer orden entre la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión y la Posición del Operador, en este caso, fué significativa con una relación F de 9.60 y un valor tabulado de 4.17.

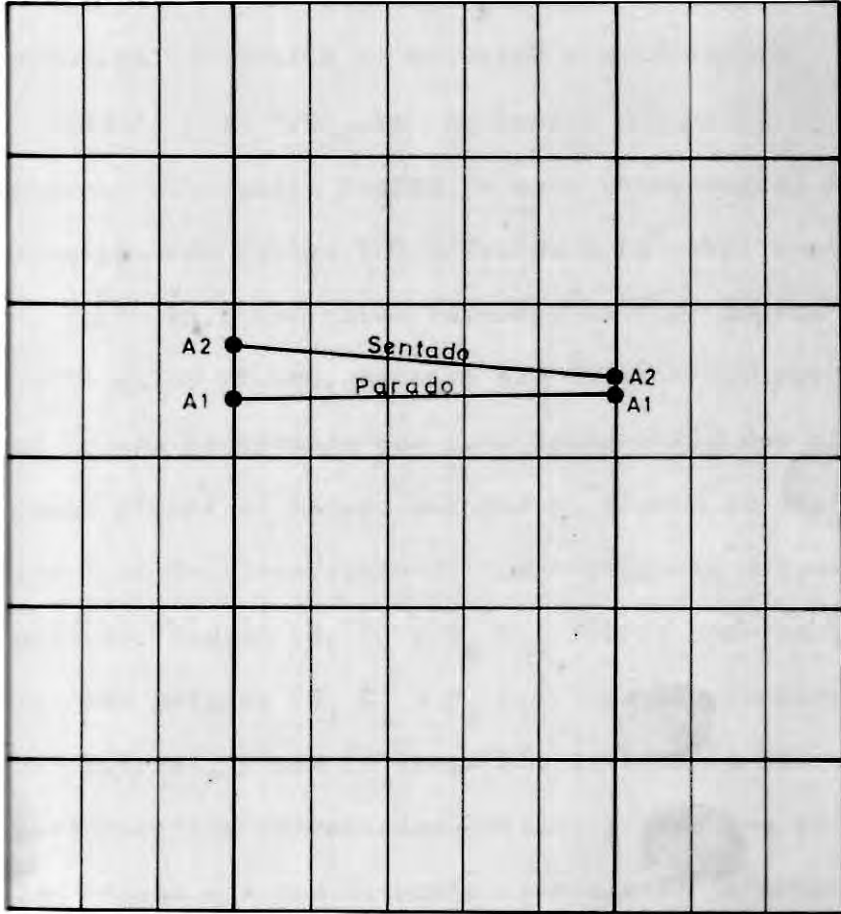
Como en el primer análisis, la información se redujo a la tabla mostrada en el Apéndice C, Tabla 13, con el fin de investigar la naturaleza y las causas de esta interacción.

La Fig. 19 fué dibujada con los valores de esta tabla. Debido a la pequeña cantidad de información recogida, se hace muy difícil determinar las razones por las cuales esta interacción

**T B I a 4 ANÁLISIS DE VARIANZA DE TRES FACTORES PARA LA FUERZA DE RESISTENCIA, POSICION DEL OPERADOR, DISTANCIA RECORRIDA DESPUES DE LA APLICACION DE PRESION, CON EL OPERADOR TENIENDO EL PIE A CINCO PULGADAS DEL PEDAL**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media al Cuadrado	Relación F	F.95
A	344.531	3	114.843	911.46*	2.92
B	0.397	1	0.397	3.16	4.17
C	2.087	1	2.087	16.56*	4.17
A x B (Inter. 1er orden)	0.255	3	0.085	.67	2.92
A x C (Inter. 1er orden)	1.109	3	0.396	2.91	2.92
B x C (Inter. 1er orden)	1.082	1	1.082	8.60*	4.17
A x B x C (Inter. 2do orden)	4.794	3	1.598	12.68*	2.92
Error	4.0169	32	0.126		
Total	358.275				

Valor Significativo



1 Pulgada 5 Pulgadas

Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión

■ Interacción de Primer Orden Entre la Posición del Operador y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión.

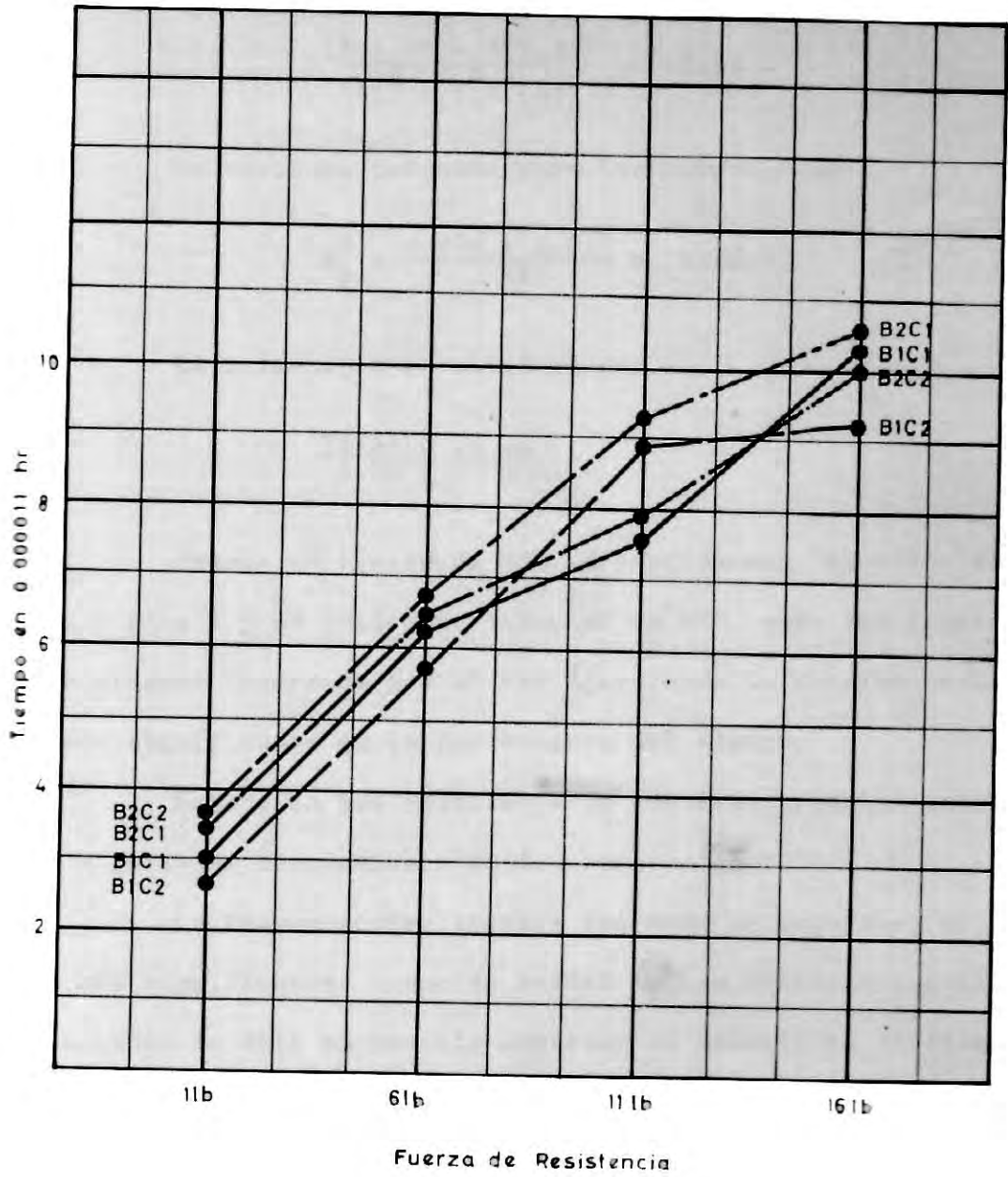
ocurre. La única explicación posible es la de que el tiempo de performance aumenta con la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de la Presión cuando el operador está parado y disminuye cuando él está sentado.

La interacción de segundo orden entre los tres factores principales también se encontró significativa. Para un valor tabulado de F de 2.92, la relación F fué de 12.68. Para encontrar alguna información acerca de esta interacción, toda la información obtenida del equipo fué reducida a la tabla mostrada en el Apéndice C, Tabla 14. Con estos valores, la Fig. 20 fué dibujada. Observando estas líneas, se hace muy difícil determinar exactamente qué es lo que ha causado que esta interacción sea significativa. La razón principal parece ser que el tiempo de performance que involucra un desplazamiento de cinco pulgadas después de la Aplicación de Presión ( $B_1 C_1$  y  $B_2 C_2$ ) fueron menores que las que envuelven una pulgada ( $B_1 C_1$  y  $B_2 C_1$ ). Cuando la carga era más pesada (16 libras), y con la carga más liviana (1 libra), fué más fácil performar las operaciones estando parado que sentado. Estas son las causas que posiblemente causen esta interacción.

### Análisis III

El siguiente paso en el análisis de la información fué encontrar si el factor de Efectos Variables, Distancia Recorrida por el Pie que Ejerce la Presión, era significativo.

Usando los valores dados en las Tablas 3 y 4, y tratando estas tablas como un diseño de bloques escogidos al azar, fué posible determinar la significancia de estos factores por medio de comparaciones ortogonales.



Interacción de Segundo Orden Entre la Fuerza de Resistencia, Posición del Operador y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión

La diferencia entre los promedios de los dos bloques  
fué:

$$\frac{(361.55 - 337.93)^2}{(1^2 + 1^2) (48)} = 58.11$$

La varianza conjunta para los bloques fué:

$$S_p^2 = \frac{4.295 + 4.017}{64} = 1.30$$

La relación F es entonces de:

$$\frac{58.11}{1.30} = 44.70$$

Usando un límite de 95% de confianza, el valor tabulado F para 1 y 64 grados de libertad es 400, esto nos indica que la Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión tenía un efecto significativo en la performance del tiempo.

Basado en los resultados de los tres primeros análisis, las siguientes conclusiones pueden hacerse:

La Fuerza de Resistencia fué como se esperaba, el factor más significativo, como se mostró en los Análisis I y II. Examinando la data es posible observar el aumento en el tiempo de performance cuando los pesos son aumentados. Este resultado es obvio ya que es mucho más difícil mover una carga pesada que una liviana y esto es exactamente lo que ha sucedido.

Cuando el pie es movido, los músculos de la pierna primero sufren una contracción isotónica. Esto es, ellos se cargan dinámicamente, y finalmente, cuando el pie es puesto sobre el pedal y la fuerza comienza a ejercerse, los músculos son sometidos a una contracción isométrica. Esto significa que el componente

estático de la fuerza entra en acción. Por otro lado, cuando el pie está en posición sobre el pedal, no hay componente dinámico de esta fuerza, por lo tanto, es más difícil para el operador de vencer la Fuerza de Resistencia y le toma mucho más tiempo generar esta fuerza. Estas son las principales razones que causaron al factor, Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión, ser tan importante.

La Posición del Operador fué encontrada significativa en el primer análisis que era en el cual el operador mantenía su pie sobre el pedal. Sin embargo, ésta no fué significativa en el segundo caso cuando el operador hacía un desplazamiento de cinco pulgadas antes de ejercer la presión. La explicación a este fenómeno es la misma que la dada para el factor Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo Presión. En el primer caso, el operador tenía que vencer la fuerza de resistencia solamente con el componente estático de la fuerza del pie. Hay una gran diferencia cuando esta fuerza es aplicada estando parado o sentado. Como fué mencionado líneas arriba, el operador se puede ayudar con el peso de su cuerpo cuando está parado, no pudiendo hacer lo mismo cuando está sentado. Por lo tanto hay una diferencia significativa en el tiempo de performance, lo que hace que este factor haya sido significativo en el primer análisis. Sin embargo, en el segundo análisis, este factor, Posición del Operador, fué encontrado no significativo debido al hecho de que en ambos casos la carga dinámica de sus músculos tenía una gran influencia debido a que el operador movía sus pies cinco pulgadas antes de ejercer presión. El esfuerzo muscular empleado para poder llevar a cabo este movimiento era el mismo estando el operador aplicando la presión sen-

tado o parado. Por esta razón este factor no fué significativo en el segundo análisis.

El cuarto factor, Distancia Recorrida Después de la Aplicación de la Presión, fué como era de esperarse, significativo. Esto es causado mayormente por la cantidad de fuerza que fué necesario generar con el fin de vencer la fuerza de resistencia. Cuando la Distancia Recorrida Después de Aplicar la Presión era una pulgada, el tiempo de performance para pesos pequeños era menor que el tiempo de performance para pesos grandes. (El tiempo promedio de la operación para pesos pequeños fué de 5.169 contra 5.307 de pesos grandes). Sin embargo, cuando el peso era aumentado era más fácil realizar la operación cuando la distancia era de cinco pulgadas. (El tiempo promedio de la operación para pesos pequeños era de 10.162 contra 9.489 para pesos grandes).

#### Análisis IV

El principal propósito de este estudio fué el de descubrir si los cuatro factores: Fuerza de Resistencia, Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión, Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión y la Posición del Operador, tienen un efecto en el tiempo de performance del elemento Aplicación de Presión. Esto se llevó a cabo con los tres primeros análisis.

El siguiente paso era determinar las variaciones en el tiempo de performance con respecto a los diferentes factores.

Los factores más importantes que se encontraron en los análisis previos fueron la Fuerza de Resistencia y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión. Solamente estos



fueron considerados en el siguiente análisis. Los otros dos factores, Posición del Operador y Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión fueron extraídos del análisis usando promedios. De esta manera, la información fué reducida a la Tabla 15, Apéndice D.

Usando esta data y un Análisis de Varianza de dos factores, se esperaba que mayor información se obtendría acerca del comportamiento de los factores Fuerza de Resistencia y Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión.

La Tabla 5 ilustra este análisis usando un 95% como límite de confianza y como se esperaba la Fuerza de Resistencia fué el factor más significativo, con una relación F de 1647.82 para el cual correspondía un valor F tabular de 3.24. El otro factor, Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión, fué encontrado ser no significativo. Sin embargo, la interacción entre ambos factores fué significativa con una relación F de 13.46 y un valor F tabulado de solamente 3.24.

Esta interacción es causada principalmente por un reverso en el tiempo de performance que ocurre cuando la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión es cambiada. La explicación a este fenómeno es similar al explicado en la página 56 y que es causado principalmente por efectos fisiológicos más allá del alcance de este estudio.

A estas alturas se efectuó una prueba de regresión para los niveles de la Fuerza de Resistencia y fué hecha con el fin de determinar el comportamiento de esta variable. Como los niveles del factor Fuerza de Resistencia fueron escogidos en una pre-

**Tabla 5 ANÁLISIS DE VARIANZA DE DO FACTORES PARA LA  
FUERZA DE RESISTENCIA Y LA DISTANCIA RECORRIDA  
DESPUES DE LA APLICACION DE PRESTION**

<u>Fuente de Variación</u>	<u>Suma de Cuadrados</u>	<u>Grados de Libertad</u>	<u>Media al Cuadrado</u>	<u>Relación F</u>	<u>F.95</u>
Fuerza de Resistencia	286.724	3	95.574	1647.82*	3.24
Distancia	0.060	1	0.060	1.034	4.49
Interacción de Primer Orden	1.501	3	0.500	8.620*	3.24
Error	0.933	16	0.058		
Total	289.218	23			

Valor Significativo

sumas de cuadrados en los componentes lineales, cuadráticos y cúbicos por medio de comparaciones ortogonales. El resultado de estas divisiones se muestra en la Tabla 6. En ella, los componentes lineales y cuadráticos resultaron ser significativos. Sin embargo, a pesar de ser ambos significativos, la magnitud de la relación F para el componente lineal (5535.75) fué mucho mayor que para el componente cuadrático (106.63) lo que nos dió suficiente información de sospechar que una ecuación lineal sería satisfactoria. Sin embargo, tanto regresiones lineales como no lineales fueron probadas. Ecuaciones exponenciales y cuadráticas fueron usadas con el fin de tratar las curvas no lineales. La suma de los cuadrados de las desviaciones de la data de la regresión lineal fué menor que la suma de los cuadrados de las desviaciones de las no lineales. Esto significa que la ecuación lineal para los puntos obtenidos era mejor que la no lineal. Por lo tanto, se decidió desarrollar una ecuación lineal despreciando la curvatura mostrada por la prueba de regresión.

El método de los mínimos cuadrados fué usado para determinar la ecuación lineal que está representada en la Fig. 21. La línea de regresión obtenida para los niveles del factor Fuerza de Resistencia fué:

$$t = 3.926 + 0.663 F$$

Donde t es un estimado del tiempo de performance del elemento de aplicación de Presión. Es importante recordar que los valores para t fueron encontrados bajo las condiciones particulares de un experimento de laboratorio y debido a la pequeña cantidad de data colectada y al limitado número de parámetros considerados, el

**Tabla 6 PRUEBA DE REGRESION PARA LOS NIVELES  
DEL FACTOR FUERZA DE RESISTENCIA**

<u>Fuente de Variación</u>	<u>Suma de Cuadrados</u>	<u>Grados de Libertad</u>	<u>Media al Cuadrado</u>	<u>Relación F</u>	<u>F.95</u>
Fuerza de Resistencia	286.724	3	95.574	1647.82*	3.24
Linear	281.217	1	281.216	5535.75*	4.49
Cuadrática	5.417	1	5.417	106.63*	4.49
Cúbica	0.090	1	0.090	1.77	4.49
Distancia	0.060	1	0.060	1.034	4.49
Interacción de Primer Orden	1.501	3	0.500	8.6206*	3.24
Error	0.933	16	0.0508		
Total	289.218	23			

\* Valor Significativo

del valor real. Este valor no puede ser considerado como posible de ser usado en aplicaciones industriales. F representa la fuerza de resistencia en libras. Es importante recordar que esta ecuación fué desarrollada cuando la Fuerza variaba de una a dieciseis libras y la distancia recorrida era de una a cinco pulgadas, y solamente aplica entre estos límites.

Una representación gráfica de esta ecuación está dada en la Fig. 21.

## CAPITULO V

### RESUMEN Y CONCLUSIONES

#### Definición del Problema

La mayoría de las investigaciones dirigidas hacia el elemento de movimiento, Aplicación de Presión, han considerado el estudio de este elemento en relación a los movimientos que se hacen usando las manos. Sin embargo, en muchas operaciones industriales, pies y piernas son usados con el fin de permitir al operador tener ambas manos libres para realizar otras operaciones coordinadas. Consecuentemente, el elemento, Aplicación de Presión, presente en estos movimientos de pies y piernas, debe también ser estudiado.

El propósito de este estudio fué el de investigar el comportamiento del elemento Aplicación de Presión y determinar la significancia que ciertos factores tienen o puedan tener en el tiempo de performance de este elemento.

El tiempo considerado fué el tiempo transcurrido entre el momento en que el operador comienza a ejercer presión con el fin de vencer la fuerza de resistencia y el momento en que el movimiento comienza.

#### Objetivos del Estudio

Los objetivos específicos de este trabajo fueron:

1. Investigar la naturaleza del elemento Aplicación de Presión relacionado con los movimientos de pies y piernas.

2. Determinar si los factores Fuerza de Resistencia, Posición del Operador, Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión y Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión, tienen o no un efecto significativo en el tiempo de performance de este tipo de Aplicación de Presión.
3. Si esos factores fuesen encontrados de ser significativos, determinar la relación del tiempo de performance para los diferentes niveles de estos factores.
4. Descubrir cualquier posible interacción entre los factores mencionados líneas arriba.

#### Procedimiento de la Investigación

La instrumentación consistía de una estructura o chasis de ángulos de acero que soportaba a una palanca por medio de un pivote. Dos clases de información fueron obtenidas: la cantidad de presión aplicada por el operador en un momento dado (cuantitativa) y los tiempos en los cuales el operador pisaba el pedal, la palanca comenzaba a desplazarse, alcanzaba el fin de su desplazamiento, comenzaba el movimiento de regreso, alcanzaba la posición original de descanso y finalmente, el momento cuando el operador retiraba el pie del pedal (cualitativa).

Toda esta información fué recogida por un "Sanborn Recorder" de dos canales sobre "Sanborn Permapaper" que se desplazaba a una velocidad constante. Un canal del "Sanborn" fué usado para registrar la información cuantitativa transmitida por los medidores de deformación que estaban colocados en la palanca.

La información cualitativa fué registrada en el segundo canal y fué obtenida por medio de interruptores de contacto y resistencias conectadas a la palanca y que formaban un circuito eléctrico.

El hecho de que ambas informaciones pudiesen ser registradas simultáneamente, permitía el establecimiento de relaciones cronológicas entre ambos canales. Esto era necesario con el fin de ajustar o precisar el punto de inicio y de fin del movimiento. El punto de inicio del movimiento fué obtenido por el canal que mostraba la información cuantitativa y el punto de fin del movimiento por el canal con la información cualitativa.

Los factores y los respectivos niveles considerados en la experimentación fueron:

Factor A	<u>Fuerza de Resistencia</u>
	A1 Una libra de resistencia
	A2 Seis libras de resistencia
	A3 Once libras de resistencia
	A4 Dieciseis libras de resistencia
Factor B	<u>Posición del Operador</u>
	B1 Parado
	B2 Sentado
Factor C	<u>Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión</u>
	C1 Una pulgada
	C2 Cinco pulgadas
Factor D	<u>Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión</u>
	D1 Ninguna
	D2 Cinco pulgadas



En total, 96 observaciones fueron registradas por operación y cinco operadores fueron usados. Con el fin de eliminar el factor humano de los resultados, la información obtenida fué reducida por medio de promedios por observaciones de los operadores

Debido a la irregularidad del Factor D, la data fué analizada usando dos Análisis de Varianza de tres factores; uno cuando la Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión era nula (D1) y la otra cuando esta distancia fué de cinco pulgadas (D2).

Los resultados del primer análisis indicaron que todos los factores fueron significativos y también casi todas las interacciones. El segundo análisis indicaba que solamente el Factor de Resistencia y la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión fueron significativos. La Posición del Operador no influenció el tiempo de performance en este caso, pero la interacción entre la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión y la Posición del Operador fué significativa como lo fué también la interacción de segundo orden entre los tres factores considerados.

El segundo paso fué el de hallar si la Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión era significativa. Con la información de los previos análisis, un tercer análisis fué llevado a cabo. Se encontró que este factor también era significativo.

Con este análisis los principales objetivos de la investigación fueron llevados a cabo. Sin embargo, se consideró necesario el obtener un estimado del tiempo de performance y esto

fué hecho después de extraer de la información obtenida, usando promedios, los factores Posición del Operador y Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión, y desarrollando un Análisis de Varianza de dos factores para los factores Fuerza de Resistencia y Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión.

El Análisis de Varianza de dos factores entre la Fuerza de Resistencia y Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión mostró que solamente el factor, Fuerza de Resistencia era significativo. Un análisis de regresión fué llevado a cabo en esta etapa y la ecuación fué obtenida por el método de mínimos cuadrados.

#### Resultados del Experimento y Conclusiones

Como se ha indicado líneas arriba, se encontró que los cuatro factores tenían un efecto significativo en el tiempo de performance, así como lo eran la mayoría de las interacciones.

Una de las causas principales de la significancia de estos factores fué el hecho de que cuando el operador tenía su pie colocado sobre el pedal, solo el componente estático de su fuerza muscular era usado para vencer la fuerza de resistencia. En el otro caso, cuando el pie estaba a cinco pulgadas del pedal, el componente dinámico tenía un efecto mayor en la fuerza generada para vencer la fuerza de resistencia, aumentando de esta manera la fuerza y disminuyendo el tiempo de performance.

Otro efecto encontrado fué el que cuando el operador realizaba sus operaciones parado, usaba su peso para vencer la fuerza de resistencia. Su peso no lo podía ayudar mientras estaba sentado.

El Análisis de Varianza para los dos factores verificó la significancia del factor Fuerza de Resistencia, pero nos indicaba que la Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión no era significativa entre ambos factores.

En este momento, una prueba de regresión fué hecha con el fin de hallar un estimado del tiempo de performance de este elemento. La ecuación linear obtenida fué:

$$t = 3.926 + 0.663 F$$

Donde t es un estimado del tiempo de performance para la Aplicación de Presión en 0.000011 de hora y F es la Fuerza de Resistencia en libras.

### Resumen de Conclusiones y Recomendaciones

Con respecto al primer objetivo, es posible decir que el valor del tiempo de performance para el elemento Aplicación de Presión no es uniforme y que variará enormemente con la Fuerza de Resistencia como el factor más importante.

Con respecto al segundo objetivo, es posible afirmar que los cuatro factores: Fuerza de Resistencia, Posición del Operador, Distancia Recorrida Después de la Aplicación de Presión y Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión, tienen algún efecto en el tiempo de performance especialmente la Fuerza de Resistencia y la Distancia Recorrida por el Pie Ejerciendo la Presión.

La relación del tiempo de performance puede ser considerada como linear y seguir la siguiente ecuación:

$$t = 3.926 + 0.663 F$$

Interacciones fueron descubiertas entre la mayoría de los factores pero su causa principal son reacciones fisiológicas.

Tabulado en la Tabla 7 están representados los porcentajes estimados del aumento en el tiempo de performance debido a los aumentos en la fuerza de resistencia usando como base una libra.

**Tabla 7 PORCENTAJES PARA LOS VALORES DE LA APLICACION DE PRESION BASADOS EN LA DATA EXPERIMENTAL**

<b>Fuerza de Resistencia (lbs.)</b>	<b><u>Porcentaje</u></b>
1	100%
6	172%
11	244%
16	316%

## BIBLIOGRAFIA

## LIBROS

1. Barnes, R. M., Motion and Time Study, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1958.
2. Brownlee, K. A., Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1961
3. Brownlee, K. A., Industrial Experimentation, New York: Chemical Publishing Company, 1953.
4. Cochran, W. G. and Cox, G. M., Experimental Designs, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1957.
5. Crow, E. L., Davis, F. A., and Maxfield, M. W., Statistics Manual, New York: Dover Publications, Inc., 1960.
6. Karger, D. W. and Bayha, F. H., Engineered Work Measurement, New York: Industrial Press, 1957.
7. Maynard, H. B., Stegermerten, G. J., and Schwab, J., Methods-Time Measurement, New York: McGraw-Hill Book Co., 1952.
8. Niebel, B. W., Motion and Time Study, Homewood, Illinois: Richard D. Irwin, Inc., 1962.
9. Perry, C. C. and Lissner, H. R., The Strain Gage Primer, New York: McGraw-Hill Book Co., 1955.
10. Quick, J. H., Duncan, J. H., and Malcom, J. A. Jr., Work Factor Time Standards, New York: McGraw-Hill Book Co., 1962.

## BOLETINES Y REVISTAS

11. Barnes, R. M., Hardway, H., and Podolsky, O., "Which Pedal is Best," Factory Management and Maintenance, Vol. 100, No. 1, January, 1942.
12. Bielk-Nielsen, E. and Lang, A. M., "Preliminary Research Report on Disengage," MTM Research Studies, Report 101, Ann Arbor, Michigan, 1951.