

Ref: 93

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



MODELADO Y ANALISIS DE LA ACCION DE EMPUJE DE ENVASES DE VIDRIO PARA SU TRANSFERENCIA DE UNA BANDA TRANSPORTADORA A UN HORNO DE TEMPLADO.

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A

MARGARITA NAVARRETE MONTESINOS

DIRIGE: DR. RICARDO CHICUREL UZIEL

México, D F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

S U M A R I O

El objetivo de este estudio es conocer las condiciones de inestabilidad que provocan la caída de un envase cuando éste es empujado con una barra que lleva cierta trayectoria. Se obtienen experimentalmente los diferentes coeficientes que entran en juego, las cotas de velocidad y aceleración máximas permitidas para que esto no suceda. Se analizan matemáticamente los movimientos libres y de impacto y se finaliza con la simulación de dicho empuje.

I N D I C E

1.	INTRODUCCION	1
	A. GENERALIDADES	3
2.	DATOS EXPERIMENTALES	
	2.1 Centros de masa	7
	2.2 Radios de giro	9
	2.3 Coeficientes de restitución	12
	2.4 Coeficientes de fricción a temperatura ambiente	18
	2.5 Coeficientes de fricción a diferentes temperaturas	30
3.	MODELOS PARA CALCULAR VELOCIDAD DE IMPACTO Y ACELERACION MAXIMAS PERMISIBLES	
	3.1 Modelo para calcular el impacto máximo permisible	47
	3.2 Modelo para calcular la aceleración máxima permisible	57
4.	COMPORTAMIENTO BRAZO EMPUJADOR-ENVASE	61
	4.1 Movimiento libre después de impacto alrededor del punto P	64
	4.2 Movimiento libre después de impacto alrededor del punto H	75
	4.3 Impacto durante el movimiento libre alrededor del punto P	79
	4.4 Impacto durante el movimiento libre alrededor del punto H	82
	B. IMPACTO DEL ENVASE SOBRE LA BANDA TRANSVERSAL	
	4.5 Impacto sobre la banda alrededor del punto H	86
	4.6 Impacto sobre la banda alrededor del punto P	87
	4.7 (*) Doble impacto (con la banda y el brazo empujador) alrededor del punto P y H	

5.	SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO BRAZO EMPUJADOR-ENVASE	89
5.1	Justificación al modelo no lineal	94
5.2	Programa de computadora ALEPH	104
5.3	Resultados numéricos	123
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	130
7.	AGRADECIMIENTOS	131
APENDICE 1.	Datos experimentales; coeficientes de restitución	132
APENDICE 2.	Datos experimentales; coeficientes de fricción dinámica a temperatura ambiente	134
APENDICE 3.	Datos experimentales; coeficientes de fricción dinámica a diferentes temperaturas	139
APENDICE 4.	Velocidades y aceleraciones máximas permisibles. Resultados (programa de computadora empleado, tablas)	143
APENDICE 5.	Simulaciones del comportamiento brazo empujador-envase (resultados numéricos)	165

I N T R O D U C C I O N

En el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México se está desarrollando en colaboración con la industria vidriera el rediseño de un empujador mecánico de envases, así como también el diseño de un nuevo empujador controlado por computadora.

Un empujador de envases es un dispositivo que se utiliza en el manejo de envases calientes. El empujador realiza la transferencia de éstos a un horno templador donde se les da un recocido para eliminar los esfuerzos residuales acumulados en el vidrio; ésto lo hace mediante el movimiento cíclico de una barra empujadora la cual, para ciclos menores de unos 10 segundos presenta problemas ya que derriba en ocasiones los envases restringiendo así posibles aumentos en la producción en un futuro próximo.

Encontramos pues que, para disminuir considerablemente el ciclo del empujador debemos conocer los fenómenos que se presentan en estas circunstancias tales como, el impacto máximo permisible empujador-envase y el movimiento libre después del impacto, para lo cual es necesario conocer cómo varían los coeficientes de restitución para los diferentes materiales utilizados en el brazo empujador, coeficientes de fricción estáticos y dinámicos envase-banda transportadora y envase-placas muertas* para las diferentes tempe-

raturas de operación. En el presente trabajo se describen en la primera parte los experimentos necesarios para obtener dichos coeficientes, en la segunda parte se analiza el comportamiento brazo empujador-envase, en la que se desarrolla un programa para computadora digital que simula el desplazamiento de envase para diferentes movimientos del brazo empujador.

* las placas muertas son placas de transición sobre las que se deslizan los envases al pasar de la banda transversal a la banda del horno (ver fig a)

GENERALIDADES

En la industria del vidrio se utiliza un "empujador mecánico que realiza la transferencia de envases calientes de una banda transversal a la banda de un horno templador como parte del sistema denominado "manejo de envases calientes". El sistema se describe brevemente a continuación (ver fig a):

El "dosificador" alimenta vidrio fundido al "distribuidor" que en forma de gotas lo distribuye a las diferentes secciones de soplado y prensado de una "máquina de moldeo" donde se lleva a cabo la deformación plástica del líquido superenfriado para obtener la forma deseada del envase. Dicha máquina deposita los envases en la "banda acarreadora" (a temperatura aproximadamente de 600 °C , dependiendo del envase) que los conduce a un "transbordador" ; éste regula el paso de los mismos separándolos uniformemente, además desvía la dirección de su trayectoria 90°. La "banda transversal" recibe los envases que forman una hilera. Cuando está completa, el empujador mecánico los traslada a la banda del horno templador donde son sometidos a un proceso de recocido que elimina los esfuerzos residuales acumulados en

el vidrio durante la contracción térmica.

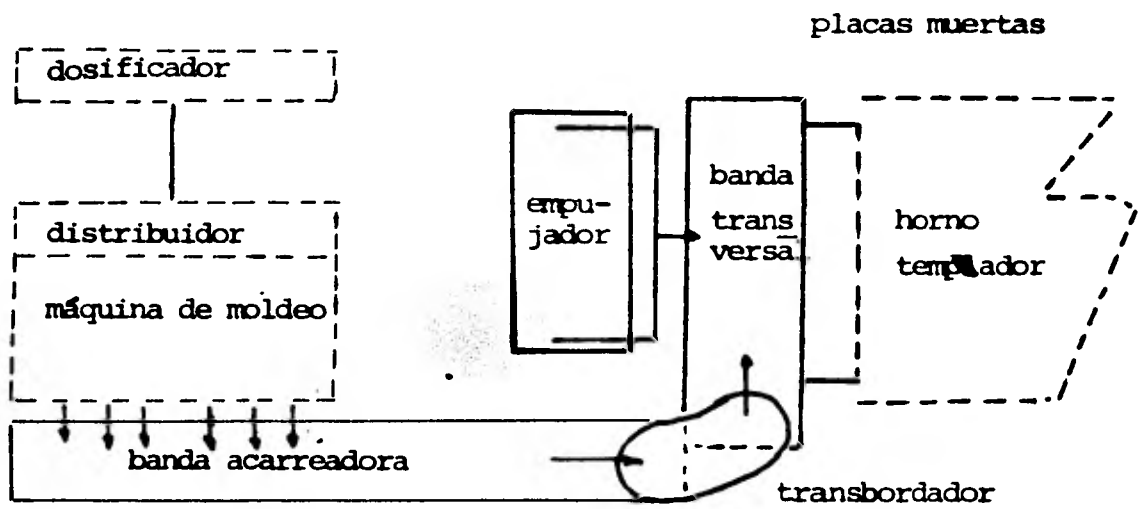


Fig a. Manejo de envases calientes

Algunos envases caen o se rompen durante este proceso ocurriendo en diferentes partes del sistema, a saber:

- i) al ingresar a la banda acarreadora
- ii) en el transbordador
- iii) en su traslado a la banda del horno

Estas pérdidas dependen de diversos factores. Para esto se realizó un estudio preliminar al respecto (ref 1) en el cual se observó que el mayor número de pérdidas se registran en el empujador mecánico. Este efectúa el traslado de los envases calientes mediante una barra empujadora, que al desplazarse en dirección de avance de la banda del horno, barre simultáneamente una fila de envases de la banda transversal a placas muertas de transición y finalmente a la banda del horno templador, continúa su movimiento

to verticalmente regresando por encima del nuevo grupo de envases, posteriormente desciende en su posición retraída para reiniciar el nuevo ciclo.

Las causas que influyen principalmente en el número de envases derribados por el empujador son:

- i) velocidad de producción (mayor número de cortes/min, mayores pérdidas)
- ii) sincronía entre los elementos del sistema
- iii) la forma del envase (mayor esbeltez, mayores pérdidas)

Lo anterior significa que si la producción de envases se incrementa, las pérdidas aumentan, por lo que se considera oportuno el desarrollo de un nuevo empujador de envases que sea capaz de mejorar las condiciones actuales de operación. Tomando como punto de partida este hecho, se presenta este trabajo, en el cual se analiza el comportamiento empujador-envase, así mismo se obtienen las expresiones matemáticas y datos experimentales necesarios que describen dicho comportamiento.

2. DATOS EXPERIMENTALES

Como se mencionó anteriormente, para poder analizar los modelos matemáticos del comportamiento brazo empujador-envase es necesario obtener experimentalmente los parámetros que entran en juego en dicho comportamiento, como son:

- a) Centros de masa de los envases
- b) Radios de giro de los envases
- c) Coeficiente de restitución (entre envase-brazo empujador)
- d) Coeficientes de fricción estática y dinámica a diferentes temperaturas (entre envase-muestra de banda transversal)

En la tabla 2.1 se anotan los envases seleccionados y algunas de sus características físicas.

ENVASE	Capacidad (ml)	Diámetro de la base (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)
1. Gerber	135	4.1	90.45	11.0
2. Cerveza Quita Pon	346	5.15	188.69	15.0
3. Cerveza Zulia	222	4.8	230.38	20.4
4. Coca Cola (12 oz)	355	5.6	456.00	24.5
5. Pepsi Cola Larga	473	5.8	480.5	28.3
6. Coca Cola (26 oz)	980	7.4	801.00	29.5

TABLA 2.1 Envases seleccionados y algunas de sus características físicas

2.1 Centros de Masa

El centro de masa de un cuerpo cualquiera se define por:

$$\bar{x} = \int \frac{x dm}{m} \quad ; \quad \bar{y} = \int \frac{y dm}{m} \quad ; \quad \bar{z} = \int \frac{z dm}{m}$$

donde:

$(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ son las coordenadas del centro de masa y m representa la masa. Para obtener el centro de masa de los envases, emplear estas integrales no es fácil, ya que éstos tienen forma irregular y espesor no uniforme, por lo cual se supuso que dicho punto está localizado en un eje vertical que pasa por el centro de la base, y se determinó su altura buscando la posición de equilibrio del envase (centro de gravedad con respecto al eje x) al colocarlo sobre un apoyo de base "e" pequeña; la figura 2.1 muestra el dispositivo de medición. Los datos obtenidos se muestran en la TABLA 2.2.

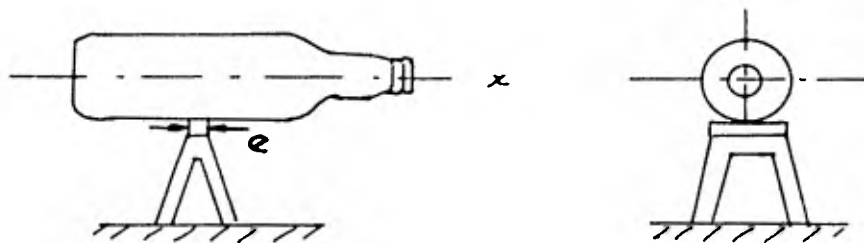


Fig 2.1
Medición del centro de Masa

ENVASE	Altura del Centro de masa. (cm)
1. Gerber	4.0
2. Cerveza Quita Pon	6.0
3. Cerveza Zulia	8.3
4. Coca Cola (12 oz)	9.7
5. Pepsi Cola Larga	11.0
6. Coca Cola (26 oz)	10.4

TABLA 2.2 Altura de los centros de masa

2.2 Radio de Giro

El radio de giro r_g de una masa se define:

$$r_g = \sqrt{\frac{I}{m}}$$

donde I es el momento de inercia y m la masa total del cuerpo

Para determinar el radio de giro de los envases con respecto al eje horizontal que pasa por su centro de masa se hicieron las siguientes consideraciones:

En la figura 2.2 el envase está articulado alrededor de un eje horizontal sin rozamiento que pasa por O , por medio de un alambre de longitud ℓ , y se desplaza un ángulo θ de la posición de equilibrio en el plano del papel.

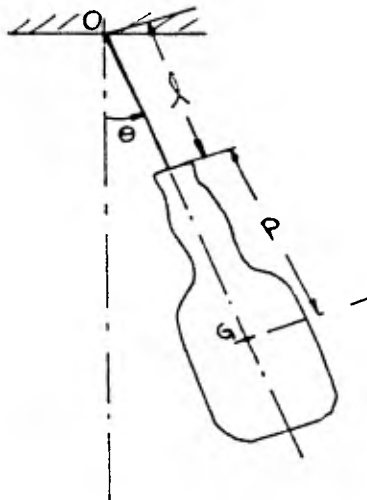


fig 2.2

Medición del radio de giro

Tomando momentos de inercia con respecto al punto O se tiene:

$$I_o = \frac{1}{3} m_a \ell^2 + I_b + m_o(\ell+p)^2 \quad (2.2)$$

donde

- I_b = momento de inercia del envase con respecto al centro de masa
- m_a = masa del alambre
- m_o = masa del envase
- p = distancia del centro de masa a la parte más alta del envase

Si se hace $u = (\ell + p)$, la ecuación de movimiento del envase es ta dada por:

$$I_o \ddot{\theta} = - \frac{\ell}{2} m_a g \text{sen} \theta - m_o u g \text{sen} \theta, \quad (2.2)$$

Para pequeños desplazamientos angulares, la relación $\text{sen} \theta \approx \theta$ es una excelente aproximación en $(-15 \leq \theta \leq +15)$. Sustituyendo además I_o en la ec. 2.2 se llega a:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g(m_a \ell/2 + m_o u)}{I_b + m_o u^2 + m_a \ell^2/3}} \quad (2.4)$$

donde:

T = período de oscilación

g = aceleración de la gravedad

despejando I_b tenemos

$$I_b = \frac{g(m_a \ell/2 + m_o u) T^2}{4 \pi^2} - m_o u^2 - m_a \ell^2/3 \quad (2.5)$$

y de 2.2 se tiene

$$r_g = \frac{gT^2}{4\pi} \left(\frac{m_a}{2m_o} \ell + u \right) + u^2 - \frac{m_a}{m_o} \ell^2 \quad (2.6)$$

despreciando la masa del alambre (0.02 gr/m)

$$r_g = \sqrt{u(24.84 T^2 + u)} \quad (2.7)$$

donde r_g se expresa en cm y T en seg.

En las pruebas se permitieron oscilaciones pequeñas $-15^\circ \leq +15^\circ$ y se obtuvo el período medio de 100 oscilaciones. Con este dato se calculó el radio de giro empleando (2.7) con ($\ell = 2$ cm). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.3 .

ENVASE	RADIO DE GIRO (cm)
1. Gerber	2.87
2. Cerveza Quita Pon	5.48
3. Cerveza Zulia	6.64
4. Coca Cola 12 (oz)	8.31
5. Pepsi Cola Larga	7.16
6. Coca Cola 26 (oz)	9.55

TABLA 2.3 Radios de giro de los envases

2.3 Coefficientes de Restitución

Cuando dos cuerpos chocan, el proceso dinámico se caracteriza por la acción de grandes fuerzas en un periodo de tiempo muy pequeño, y por cambios repentinos en la velocidad de ambos cuerpos. Idealmente el proceso es instantáneo y se llama impacto.

En nuestro caso el impacto brazo empujador-envase, se realiza entre las superficies que son de material de asbesto - el primero y de vidrio a alta temperatura el segundo. El coeficiente de restitución es una razón que relaciona al impulso de compresión I_c y el impulso de restitución I_r entre ambos materiales que entran en el proceso de impacto.

Si llamamos "e" al coeficiente de restitución tenemos que:

$$e = \frac{I_r}{I_c} \quad (2.8)$$

además, se puede demostrar que "e" se expresa también mediante la relación:

$$e = \frac{\text{Velocidad de separación de los puntos de impacto}}{\text{Velocidad de aproximación de los puntos de impacto}} \quad (2.9)$$

Para obtener el coeficiente de restitución de una manera experimental sencilla entre el asbesto-vidrio se procedió de la siguiente manera:

En la fig 2.3 (a) la muestra de asbesto se encuentra articulada alrededor del punto P por medio de hilo resistente y tan largo como fue posible (peso de 0.02 gr/cm y una longitud de 180 cm). Se desplaza la muestra un ángulo θ_1 de la posición de equilibrio en el plano (x,y). Por otra parte se fija el envase sobre una base que no le permita movimientos horizontales. Cuando la muestra de asbesto se encuentra en equilibrio apenas hace contacto

con el envase (Ver fig 2.3 a) y el centro de masa de éste y el eje longitudinal de la muestra se encuentran en el mismo plano horizontal. Para realizar la prueba se procedió así:

En la fig 2.3 (b) la muestra de asbesto se separa una distancia d_1 conocida a partir de su posición de equilibrio, al soltarla choca con el envase regresando hasta una posición d_2 máxima de su posición de equilibrio en que su velocidad es nula. Esta distancia se registra en un papel, (colocado en un plano perpendicular de la muestra) mediante una plumilla sujeta en el extremo de la muestra. Con estos datos y analizando el impacto en el plano (x,y), el coeficiente de restitución "e" puede calcularse mediante:

$$e = \frac{V_2}{V_1} = \frac{r - \sqrt{r^2 - d_2^2}}{r - \sqrt{r^2 - d_1^2}} \quad (2.10)$$

La anterior relación se obtuvo de la manera siguiente:

Sea:

- r = distancia entre el eje longitudinal de la muestra y el punto P
- V_1 = **velocidad** antes de impacto
- V_2 = **velocidad** después de impacto
- h_1, h_2 = **distancia** entre el eje de la muestra de asbesto y un plano horizontal que pasa por el centro de masa del envase, cuando la muestra está a una distancia horizontal d_1, d_2 de su posición de equilibrio antes y después de impacto respectivamente.

Entonces:

$$h_1 = r (1 - \cos\theta_1)$$

$$h_2 = r (1 - \cos\theta_2)$$

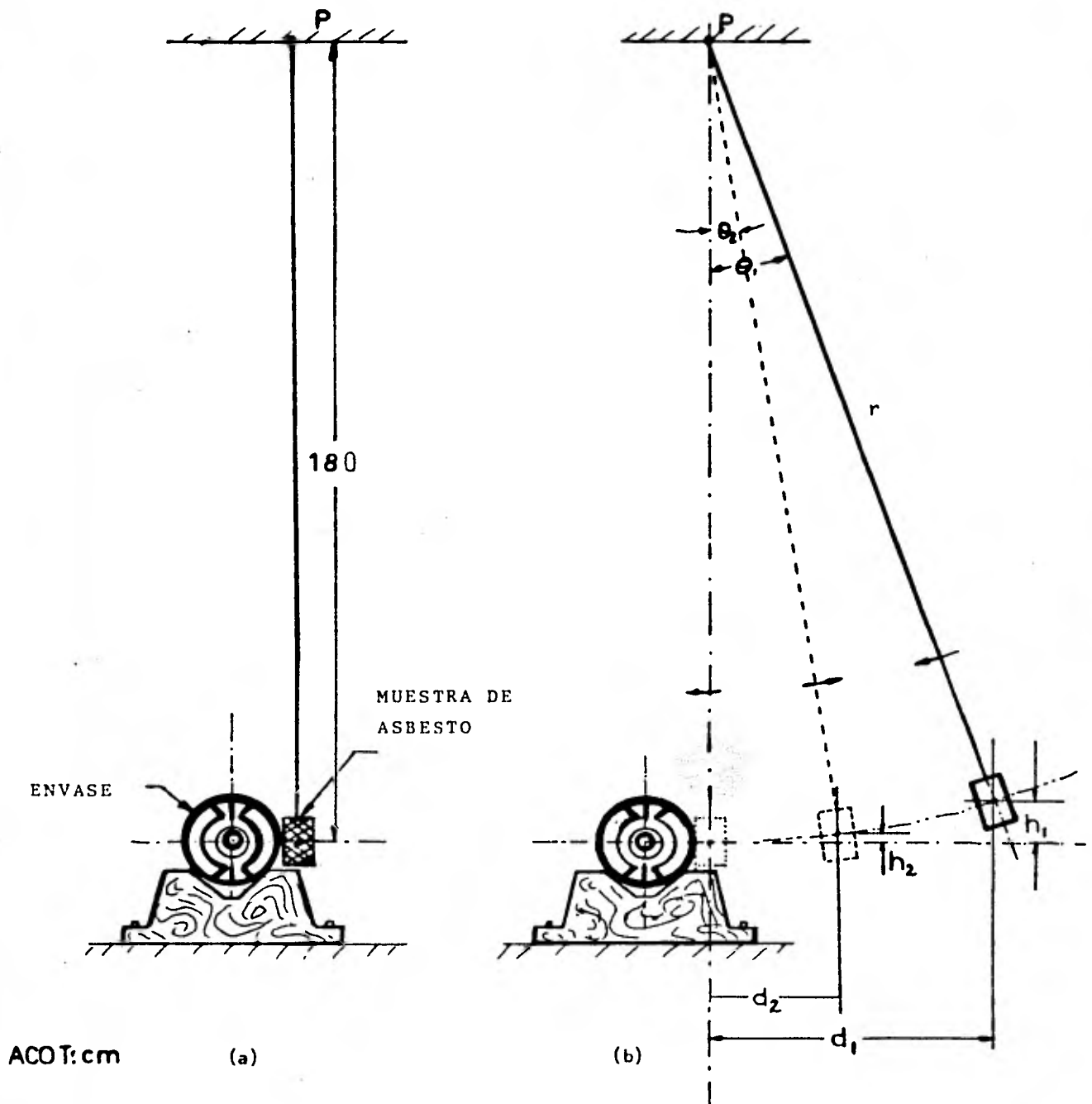


Fig 2.3 Medición de los coeficientes de restitución.

Como θ_1 y θ_2 son los ángulos máximos entre la cuerda y la vertical antes y después de impacto,

$$h_1 = r - \sqrt{r^2 - d_1^2}$$

$$h_2 = r - \sqrt{r^2 - d_2^2}$$

$$V_1 = \sqrt{2g (r - \sqrt{r^2 - d_1^2})}$$

$$V_2 = \sqrt{2g (r - \sqrt{r^2 - d_2^2})}$$

Sustituyendo se obtiene la ec. 2.10.

Los coeficientes de restitución se obtuvieron para dos muestras de asbesto (tomando un promedio de 20 eventos a temp. ambiente) una que llamaremos dura y la otra blanda. Los resultados para los envases seleccionados se dan en la tabla 2.4.

ENVASE	"e"	
	Asbesto duro	Asbesto blando
1. Gerber	0.186	0.336
2. Cerveza Quita Pon	0.551	0.344
3. Cerveza Zulia	0.251	0.434
4. Coca Cola 12 (oz)	0.292	0.399
5. Pepsi Cola Larga	0.226	0.396
6. Coca Cola 26 (oz)	0.239	0.331

TABLA 2.4 Coeficientes de restitución para asbesto duro y asbesto blando (obtenidos a temperatura ambiente)

En la tabla 2.4 se observa que el coeficiente de restitución para asbesto blando es mayor que para el asbesto duro, por lo que sería recomendable recubrir el brazo empujador con asbesto duro ya que permite velocidades mayores de impacto en iguales condiciones de manejo.

Los coeficientes de restitución se obtuvieron a temperatura ambiente. Lógicamente las características elásticas de los envases se modifican al aumentar su temperatura siendo posible que dichos valores sean menores que los indicados en la tabla 2.4 (los coeficientes de restitución no fueron determinados a diferentes temperaturas por no contarse con los elementos necesarios).

2.4 Coefficientes de fricción a diferentes temperaturas

A. Dispositivo de Medición

Se diseñó un dispositivo sencillo en el cual se miden en forma indirecta los coeficientes de rozamiento envases-muestra de banda transportadora y envases-placas de acero (en direcciones longitudinal y transversal en el caso de la banda).

El dispositivo se muestra en la fig 2.5.

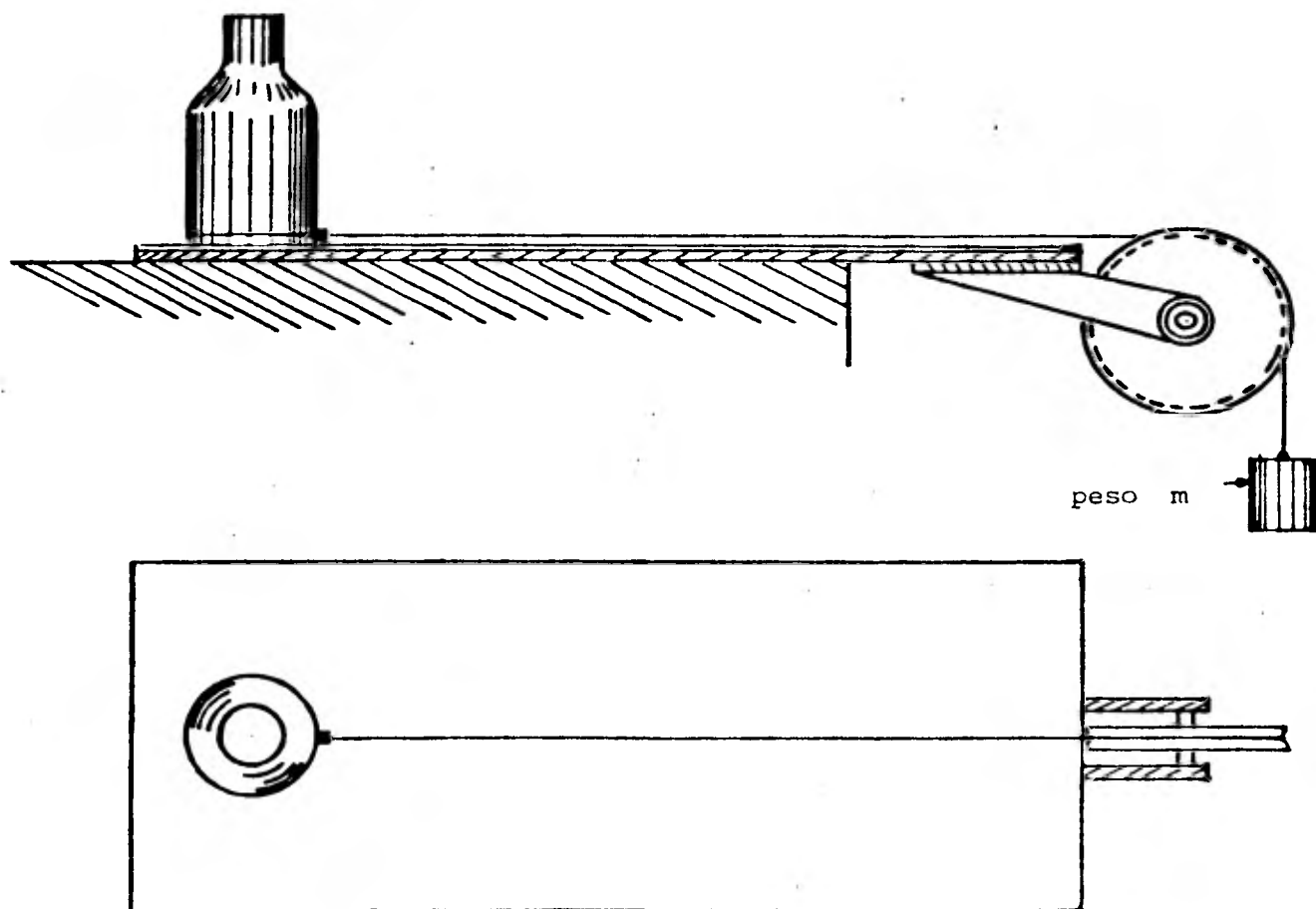


Fig 2.5. Dispositivo de medición

El envase se desliza sobre la superficie ya sea de la banda transportadora o placas de acero aplicándole una fuerza horizontal lo más bajo del centro de masa del envase como sea posible.

Este dispositivo se emplea tanto para medir coeficientes de fricción estática como dinámica. Las pruebas se realizaron a diferentes temperaturas (t. amb., 100, 200, 300, 400 y 500 °C).

2.4.1. Coefficientes de fricción estática a temperatura ambiente

Para calcular este coeficiente se siguieron dos procedimientos:

- a) Empleando el dispositivo de la figura 2.5, se determina el peso mínimo m tal que el envase empiece a deslizarse sobre la superficie, en este momento se cumple que

$$F - \mu_s N = 0 \quad (2.11)$$

donde F es la magnitud de la fuerza de rozamiento estático, μ_s es el coeficiente de fricción estática y N la magnitud de la fuerza normal; entonces,

$$\mu_s = \frac{F}{N} = \frac{m}{m_0} \quad (2.12)$$

donde m_0 es la masa del envase.

- b) Se inclina lentamente la superficie de prueba donde se ha colocado previamente el envase y se mide el ángulo

mínimo θ en que el envase empieza a deslizarse (ver fig 2.6). En este momento se cumple:

$$F = m_0 g \operatorname{sen} \theta$$

y además

$$N = m_0 g \operatorname{cos} \theta$$

se tiene

$$\mu_s = \frac{\operatorname{sen} \theta}{\operatorname{cos} \theta} = \operatorname{tg} \theta$$

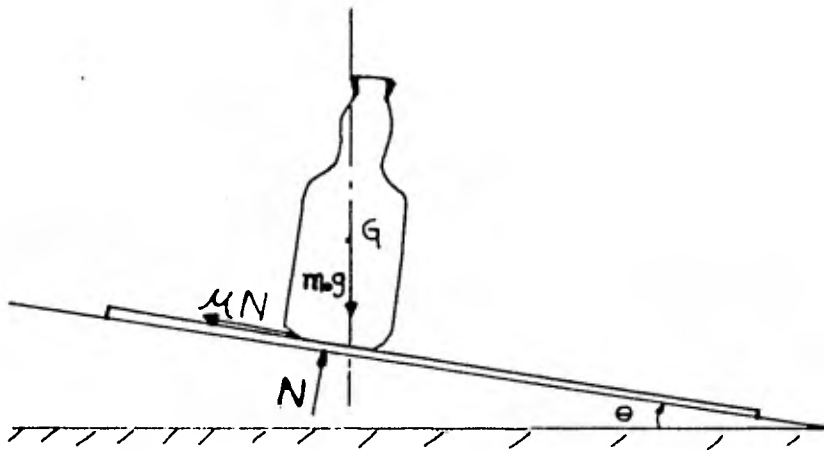


Fig 2.6

Algunas veces los envases se voltean antes de deslizarse; en estos casos sólo puede fijarse un valor mínimo para el coeficiente de fricción estático.

Analizando la fig 2.7 se observa que el envase se voltea si antes de que empiece a deslizarse su centro de masa coincide con el punto de aplicación de la fuerza normal.

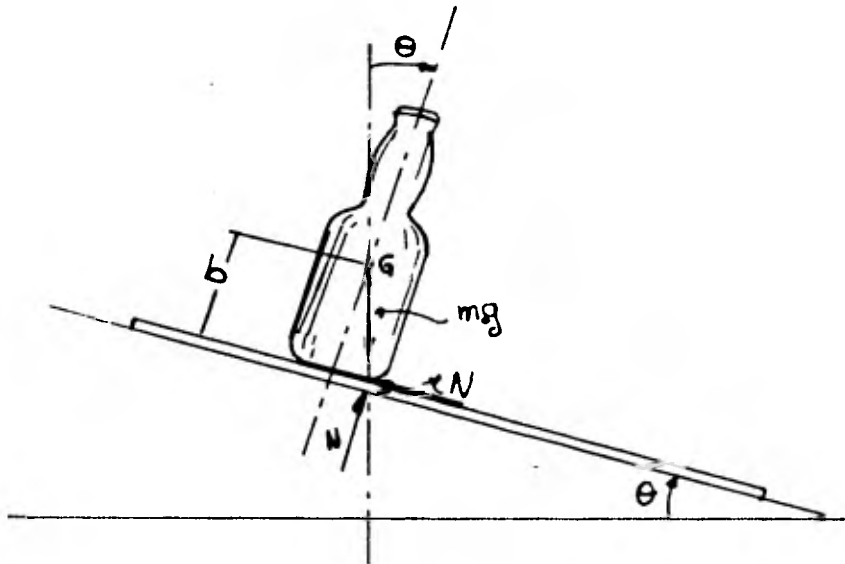


Fig 2.7 Condición para que un envase se voltee sin deslizarse.

La cota mínima del coeficiente de fricción estático es en ese caso

$$\mu_{\min} = \frac{r}{h_{\text{cm}}} \quad (2.13)$$

r = radio efectivo de la base del envase

h_{cm} = altura al centro de masa

En la tabla 2.5 se dan los valores promedio de los coeficientes de fricción estática obtenidas con ambos procedimientos.

Durante las pruebas se observó que dicho coeficiente no es constante en toda la superficie de la banda transportadora; esto se debe a que la superficie de la banda no es uniforme.

En la fig 2.8 se dan valores de coeficientes de fricción para diferentes posiciones, medidos en dirección transversal para un envase de cerveza Zulia.

También se observó que los envases presentan tres diferentes movimientos en su trayectoria de deslizamiento:

1. Giro con respecto a un punto de su base; ajuste con respecto a su posición de equilibrio
2. Deslizamiento
3. Vuelco

Esto se ilustra en la fig 2.9

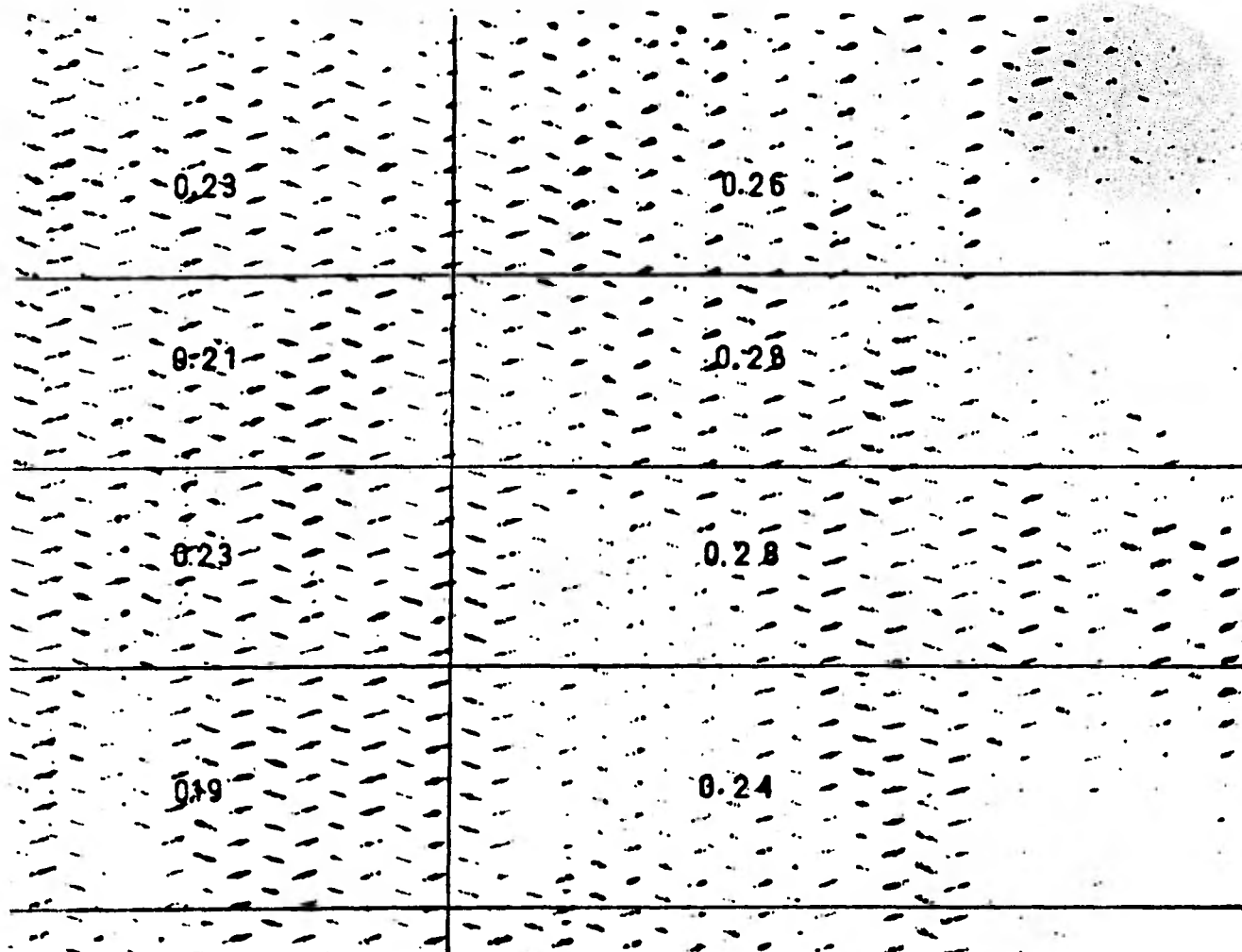
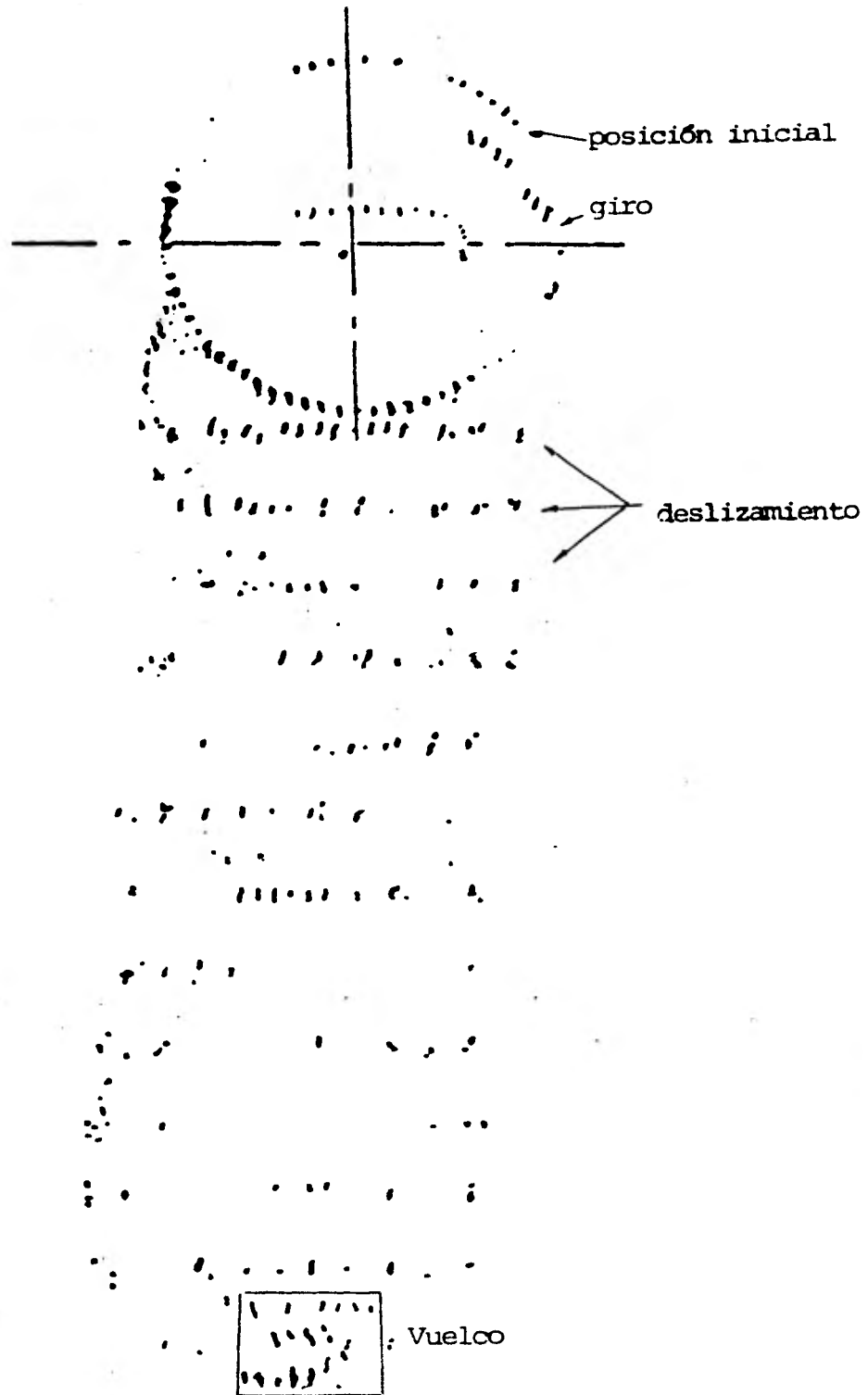


Fig 2.8 Coeficiente de fricción estática según la zona de la banda donde se coloque el envase.

0.23

ZULIA

0.19



CERVEZA
MODERNA

Fig 2.9 Marcas dejadas por una botella en su trayectoria de deslizamiento sobre una banda inclinada.

Tabla 2.5. Coeficiente de fricción estática a temperatura ambiente

Envase	Método A		Método B		Promedio	
	Long.	Transv.	Long.	Transv.	Long.	Transv.
1. Gerber	0.25	0.19	0.19	0.192	0.22	0.191
2. Quita Pon	0.19	0.2	0.21	0.22	0.2	0.21
3. Cerveza Zulia	0.2	0.23	0.255*	0.213*	0.228*	0.222*
4. Coca Cola 12(07)	0.216	0.23	0.231	0.249	0.224	0.24
5. Pepsicola larga	0.274	0.283	0.249*	0.249*	0.236	0.244

*NOTA: El envase vuelca antes de deslizar sobre la banda, y los valores indicados corresponden a la tangente del ángulo promedio de vuelco.

2.4.2 Coeficientes de fricción dinámica a temperatura ambiente

En el cálculo del coeficiente de fricción dinámica también se utiliza el dispositivo de la fig 2.5. Considérese el diagrama de cuerpo libre de la fig 2.10.

Suponiendo a la polea como un disco uniforme de radio R , y masa M_p con fricción despreciable tenemos que:

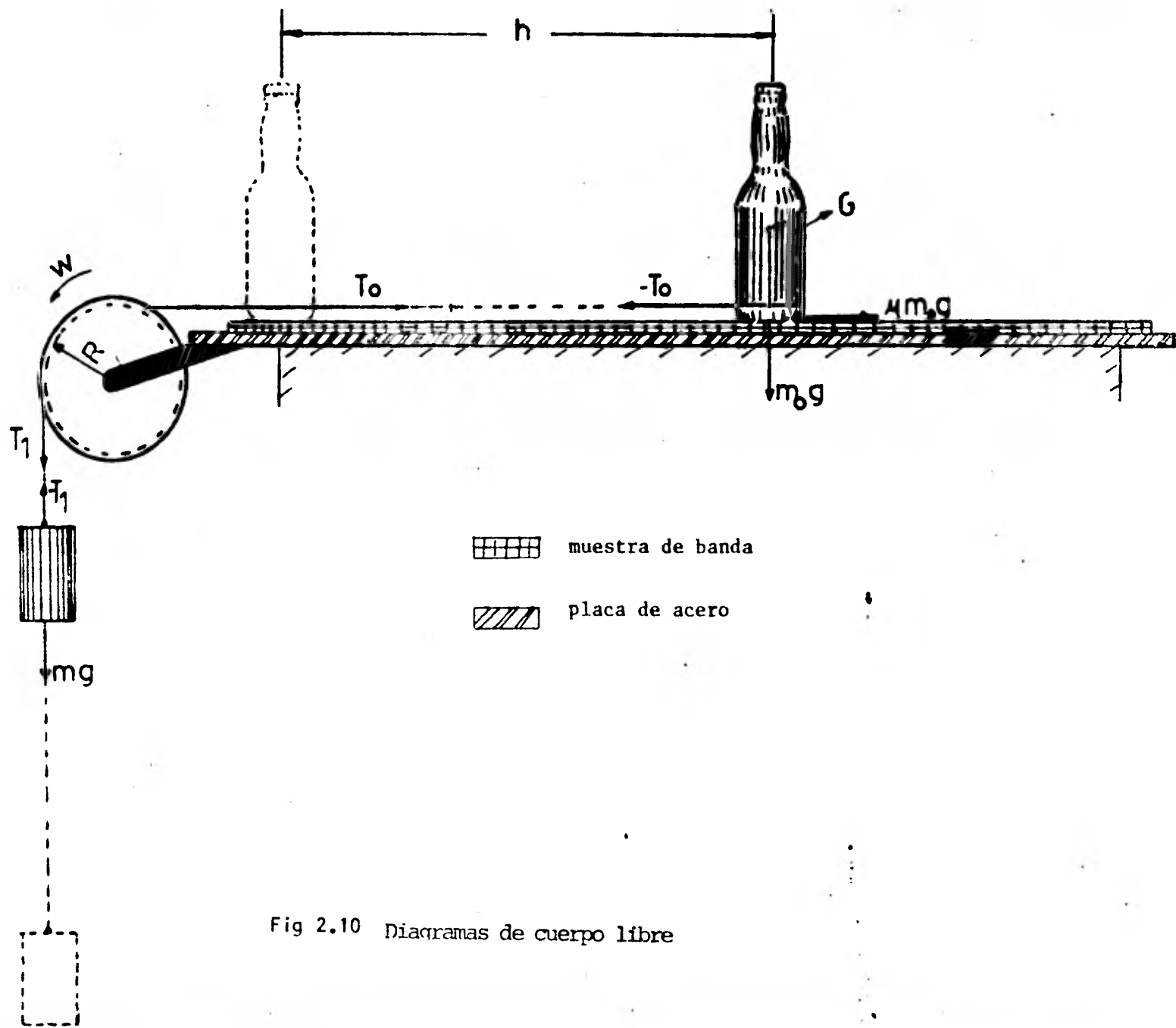


Fig 2.10 Diagramas de cuerpo libre

$$M = I \ddot{\theta}$$

donde

M = momento de rotación en torno del eje central

I = momento de inercia del disco con respecto al eje central

y

$$(T_1 - T_0)R = \frac{1}{2} M_p R^2 \ddot{\theta}$$

$$\ddot{\theta} = \frac{2(T_1 - T_0)}{M_p R}$$

T_1 y T_0 son las fuerzas de tensión en los extremos del cable.

La aceleración "a" del envase es la misma aceleración tangencial de un punto en la periferia de la polea, entonces

$$\begin{aligned} a &= R \ddot{\theta} \\ &= \frac{2(T_1 - T_0)}{M_p} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Considerando que el movimiento es uniformemente acelerado:

$$x = \frac{1}{2} a t^2; \quad a = \frac{2h}{t^2}$$

donde x y t son la distancia y tiempo recorrido, respectivamente. Sustituyendo en 2.14

$$(T_1 - T_0) = \frac{M_p x}{t^2}$$

Por otra parte, de la segunda ley de Newton:

$$mg - T_1 = ma \quad (2.15)$$

$$T_0 - \mu_D m_0 g = m_0 a \quad (2.16)$$

donde m es la masa del peso colgado, m_0 es la masa del envase, g representa la gravedad y μ_D el coeficiente de fricción dinámica. Resolviendo 2.14, 2.15 y 2.16 tenemos:

$$\mu_D = \frac{m}{m_0} - \frac{x}{t^2 g} \left\{ \frac{M + 2(m + m_0)}{m_0} \right\} \quad (2.17)$$

Para obtener el coeficiente de fricción dinámica μ_D se fija en el dispositivo de la fig 2.10 un peso m tal que el envase deslice sobre la banda, se mide la distancia y el tiempo que tarda en recorrerlo (t).

En la tabla 2.6 se dan valores de los coeficientes de fricción dinámica, tanto para la banda transportadora (dirección longitudinal y transversal) como para la placa de acero, para velocidades diferentes; estos son valores promedio de los obtenidos en repeticiones de la prueba realizadas para cada envase. En el apéndice 1 se anotan los resultados experimentales completos.

Tabla 2.6 Valores promedio de los coeficientes de fricción dinámica en dos intervalos de velocidad, μ_{DL} = dirección longitudinal; μ_{DT} = dirección transversal.

SOBRE BANDA TRANSPORTADORA								
Envase	DIRECCION LONGITUDINAL				DIRECCION TRANSVERSAL			
	Velocidades ≤ 50 cm/s		Velocidades > 50 cm/s		Velocidades ≤ 50 cm/s		Velocidades > 50 cm/s	
	μ_{DL}	%	μ_{DL}	%	μ_{DT}	%	μ_{DT}	%
1. Gerber	0.247	15.53	0.084	46.8	0.282	12.1	0.229	22.9
2. Cer. Q.T.	0.196	2.88	0.146	25.2	0.170	11.1	0.064	84.1
3. C. Zulia	0.228	18.2	0.181	36.0	0.254	10.7	0.292	-
4. Coca Cola 12 (oz)	0.174	3.0	0.137	13.56	0.149	8.9	0.081	19.7
5. Pepsi Cola larga	0.186	1.55	0.141	13.7	0.217	6.7	0.161	24.6

% = Desviación estándar expresada como porcentaje del valor medio

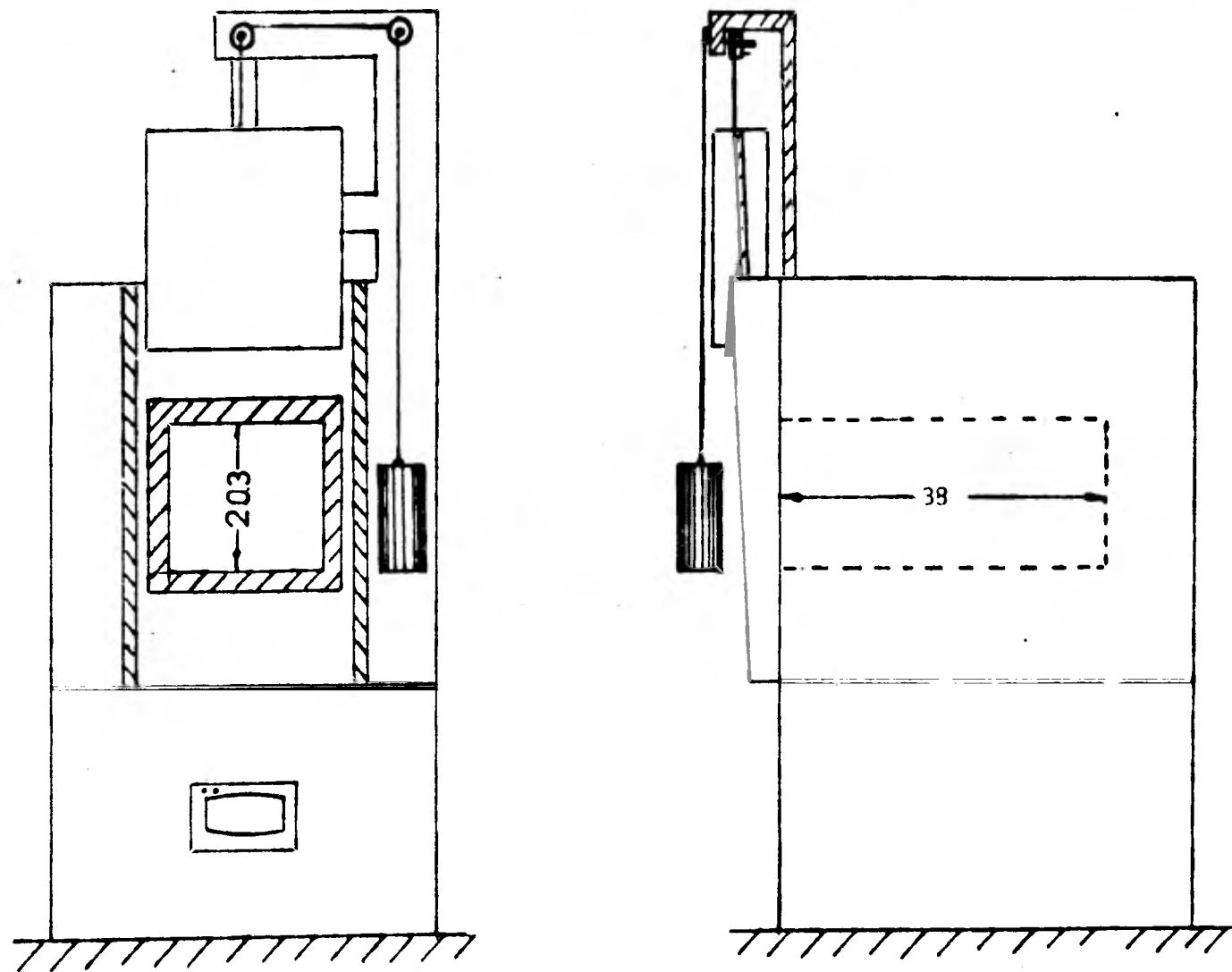


Fig 2.11.Horno eléctrico

2.5 Coefficientes de fricción a temperaturas mayores de la ambiente

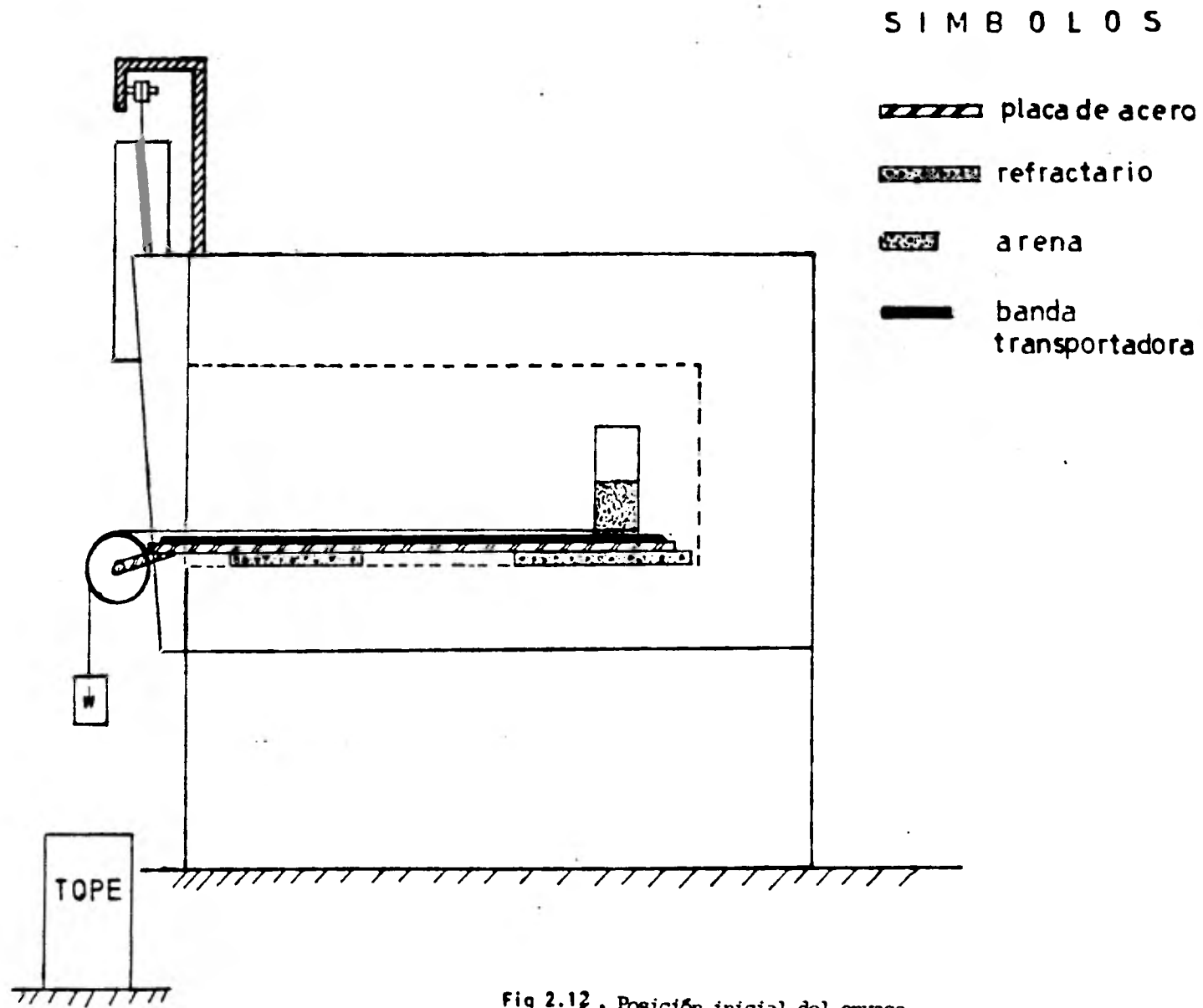
En producción, los envases y la banda transportadora se encuentran a una temperatura mayor que la ambiente cuando entra en acción el empujador. Por otra parte los coeficientes de fricción dependen de la temperatura, por lo que se decidió realizar las mismas mediciones de las dos secciones anteriores para diferentes temperaturas comprendidas entre los 100 y 500°C.

Para calentar la banda y los envases a las temperaturas requeridas se empleó un pequeño horno eléctrico con regulador de temperatura. La cámara del horno tiene una puerta de entrada de forma cuadrada con 20.3 cm por lado, y una profundidad de 38 cm (ver fig 2.11). Algunos de los envases tienen una altura mayor que la cámara del horno, por lo que fue necesario cortarlos para introducirlos al horno en posición vertical y darles posibilidad de moverse libremente en su interior. Los coeficientes de fricción dependen de la masa del envase; para aquellos que fueron cortados se aumentó el peso con arena hasta obtener su peso original.

Según datos recabados en la primera fase del proyecto en Vidriera los Reyes*, la temperatura de los envases a la salida de la máquina de moldeo varía entre 400 y 600°C, perdiéndose alrededor de 200°C durante los primeros 10 segundos de su recorrido. Como se desea que a la entrada del horno templador la temperatura de los envases sea la de recocido (aproximadamente 550°C) durante su recorrido al horno los envases se someten a calentamiento bajo la acción directa de una flama. Por otra parte en experimentos preliminares se observó que a temperaturas cercanas a los 700°C el vidrio empieza a convertirse en una masa viscosa, fundiéndose totalmente cerca de los 1,100°C, por lo que se determinó medir los coeficientes de fricción para temperaturas de 100, 200, 300, 400 y 500°C.

Para determinar la temperatura de los envases no se contó con sensores apropiados. Se descartó la idea de emplear un modelo matemático para determinar dicha temperatura a partir de la temperatura del interior del horno, por considerar los parámetros del envase muy difíciles de obtener (espesor y forma de los envases no es uniforme y en algunos casos hubo de agregarse arena en su interior). Por tal motivo se decidió fijar la temperatura del horno en uno de los valores experimentales y antes de realizar la medición, dejar el envase dentro del horno un lapso de tiempo suficientemente grande para asegurar que la temperatura del horno y del envase fueran iguales; este lapso se estableció entre 30 y 120 minutos, dependiendo del espesor del envase y la cantidad de arena contenida en su interior. Para intentar alcanzar el estado de equilibrio con mayor rapidez y disminuir el tiempo requerido para cada prueba, se probó fijar la temperatura del horno 200°C por encima de la deseada durante los primeros minutos de calentamiento del envase; pasados estos minutos iniciales el punto de operación del regulador de temperatura del horno se fijó en el valor experimental deseado para la prueba y se esperó un lapso prudente para asegurar que la temperatura de equilibrio fuera alcanzada por el envase. En algunos casos esto permitió reducir el tiempo requerido para la prueba a 15 min, pero frecuentemente los gradientes térmicos entre la temperatura del horno y la del envase hacían que éste último se estrellase quedando inutilizado para hacer las mediciones. Por tanto, se procedió como sigue:

- a) El dispositivo de la figura 2.5 (con la muestra de la banda sujeta en la superficie a tensión) se introduce en el horno, tal como se ilustra en la figura 2.12
- b) Se coloca el envase sobre la banda en la parte más alejada de la puerta del horno; el envase lleva el alambre que servirá para jalarlo



- c) Se enciende el horno, por ejemplo a 100°C como temperatura de operación. Para que el envase alcance esta temperatura se requiere alrededor de 45 minutos. Una vez transcurrido este lapso de tiempo se inician las mediciones como sigue:
- i) Se abre la puerta del horno a una altura pequeña (menor de 3 cm) pero de tal forma que el alambre no haga contacto con la puerta del horno
 - ii) Se coloca el alambre sobre la polea y en su extremo se cuelga un recipiente cuyo peso W es menor que el mínimo requerido para que el envase deslice (el recipiente ha sido pesado con anterioridad y W se conoce con precisión)
 - iii) Se agrega peso al recipiente poco a poco, hasta que el envase vence la fuerza de fricción y se desliza sobre la banda. Con el peso mínimo requerido para que tal cosa suceda se calcula el coeficiente de fricción estática, como en el procedimiento A de la sección 2.4.1. La prueba se repite varias veces colocando el envase en diferentes partes de la superficie de deslizamiento.
 - iv) Una vez obtenido el coeficiente de fricción estática, se inician las pruebas para medir el coeficiente de fricción dinámica. Se aumenta el peso del recipiente en una cantidad conocida y se coloca el envase al fondo del horno, sosteniéndolo pa-

ra evitar que se deslice (se emplea para ello un bastón de madera). Al soltarlo, el envase se desliza hasta que el peso llega a un tope previamente colocado al pie del horno (ver fig 2.11); se miden la distancia y el tiempo que tardan en recorrello. Se regresa el envase al fondo del horno y se repite la operación varias veces. El coeficiente de fricción dinámica se calcula sustituyendo en la ecuación 2.17 de la sección 2.4.2.

viii) Se aumenta nuevamente el peso del recipiente en otra cantidad conocida y se repite el procedimiento indicado en el punto anterior; se obtiene así el coeficiente de fricción dinámica para una mayor velocidad. Esto se repite hasta que se ha cubierto el rango de velocidades de interés.

Entre prueba y prueba se mantiene cerrada la puerta del horno durante un pequeño lapso de tiempo para que la temperatura vuelva a estabilizarse en el valor experimental. Una vez hechas todas las mediciones requeridas a una temperatura, se incrementa el punto de operación en 100°C y se repite el proceso; la temperatura máxima considerada fue de 500°C .

Al cambiar el envase fue necesario limpiar la banda transportadora, ya que durante las pruebas ésta se oxida. Para dar una idea de la cantidad de óxido que se incrusta entre las marcas de la base de un envase al deslizarse sobre la banda repetidamente, en la figura 2.13 se muestran las marcas dejadas por el envase de Pepsi

Cola larga antes y después de concluída la prueba. La oxidación de la banda modifica el valor de los coeficientes de fricción; el orden de magnitud de estas modificaciones se observa en una prueba con un envase de Cerveza Caguama no-retornable sobre la banda oxidada (en dirección longitudinal), se obtuvo un valor promedio $\mu_D = 0.4723$, que es más del doble que el obtenido sobre la banda sin oxidación ($\mu_D = 0.195$) para una velocidad semejante. En todas las pruebas que se realizaron la oxidación hizo que el coeficiente de fricción aumentase.

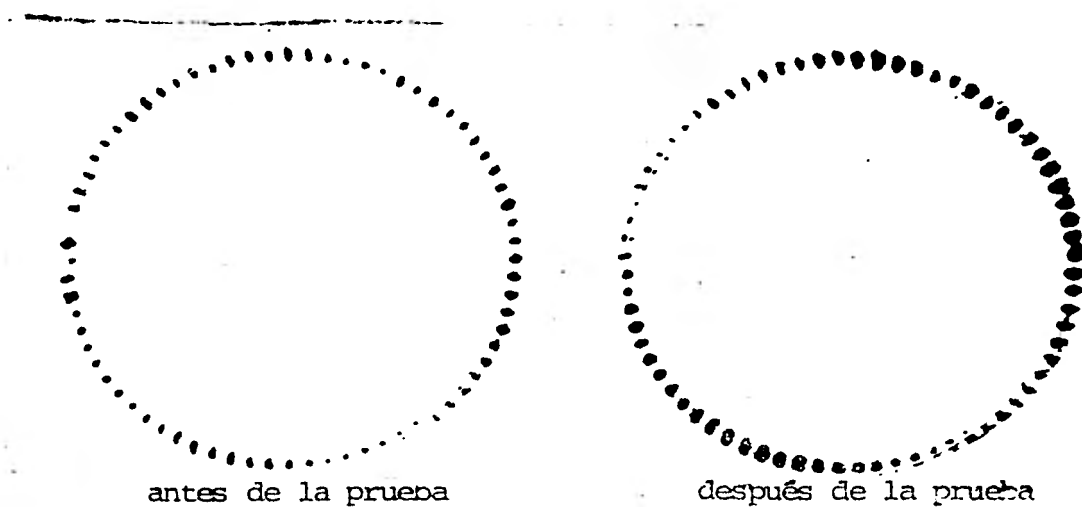


Fig 2.13. Efecto de la oxidación (envase Pepsi cola larga).

En las tablas 2.7 a 2.9 se anotan los valores promedio de los coeficientes de fricción estática para diferentes temperaturas consideradas, tanto para la muestra de banda transportadora (direcciones longitudinal y transversal) como para la placa de acero. En las figuras 2.12 a 2.14 se grafican los valores de los coeficientes en función de la temperatura para los envases seleccionados.

En las tablas 2.10 a 2.12 se anotan los valores de los coeficientes de fricción dinámica para diferentes temperaturas y rangos de velocidad. En las figuras 2.15 y 2.16 se grafican a modo de ejemplo para un envase de Pepsi Cola Larga las curvas de los coeficientes de fricción dinámica (direcciones longitudinal y transversal) en función de la velocidad para diferentes temperaturas.

En el apéndice 2 se incluyen los datos experimentales completos para los coeficientes de fricción dinámica a temperatura ambiente. En el apéndice 3 se encuentran los datos para los coeficientes de fricción a diferentes temperaturas.

Algunas observaciones de los resultados de la prueba son las siguientes:

- a) para la banda transportadora , la fricción es mayor en la dirección transversal.
- b) los coeficientes de fricción aumentan al aumentar la temperatura
- c) el coeficiente de fricción disminuye al aumentar la velocidad

ENVASE	TEMPERATURAS					
	100°	200°	300°	400°	500°	Temp. Amb
GERBER	0.257	0.407	0.409	0.477	0.738	0.220
CERVEZA QUITA PON	0.343	0.260	0.391	0.555	0.699	0.200
CERVEZA ZULIA	0.607	0.438	0.522	0.651	0.768	0.228
COCA COLA (12 oz)	0.280	0.339	0.419	0.662	0.712	0.224
PEPSI COLA LARGA	0.306	0.331	0.450	0.520	0.604	0.236

TABLA 2.7 Coeficientes de fricción estática a diferentes temperaturas en dirección longitudinal de la banda transportadora.

ENVASE	TEMPERATURAS					
	100°	200°	300°	400°	500°	Temp. Amb.
GERBER	0.318	0.436	0.472	0.530	0.820	0.191
CERVEZA QUITA PON	0.364	0.418	0.492	0.575	0.906	0.210
CERVEZA ZULIA	0.416	0.474	0.689	0.595	0.783	0.222
COCA COLA (12 oz)	0.223	0.359	0.408	0.699	0.832	0.240
PEPSI COLA LARGA	0.216	0.365	0.473	0.671	0.650	0.244

TABLA 2.8 Coeficientes de fricción estática a diferentes temperaturas en dirección transversal de la banda transportadora.

ENVASE	TEMPERATURAS				
	100°	200°	300°	400°	500°
GERBER	0.525	0.545	0.460	0.565	0.710
CERVEZA QUITA PON	0.382	0.413	0.495	0.435	0.584
CERVEZA ZULIA	0.326	0.405	0.413	0.460	0.501
COCA COLA (12 oz)	0.230	0.364	0.416	0.437	0.493
PEPSI COLA LARGA	0.313	0.395	0.410	0.350	0.464

TABLA 2.9 Coeficientes de fricción estática a diferentes temperaturas medidos sobre una placa de de acero.

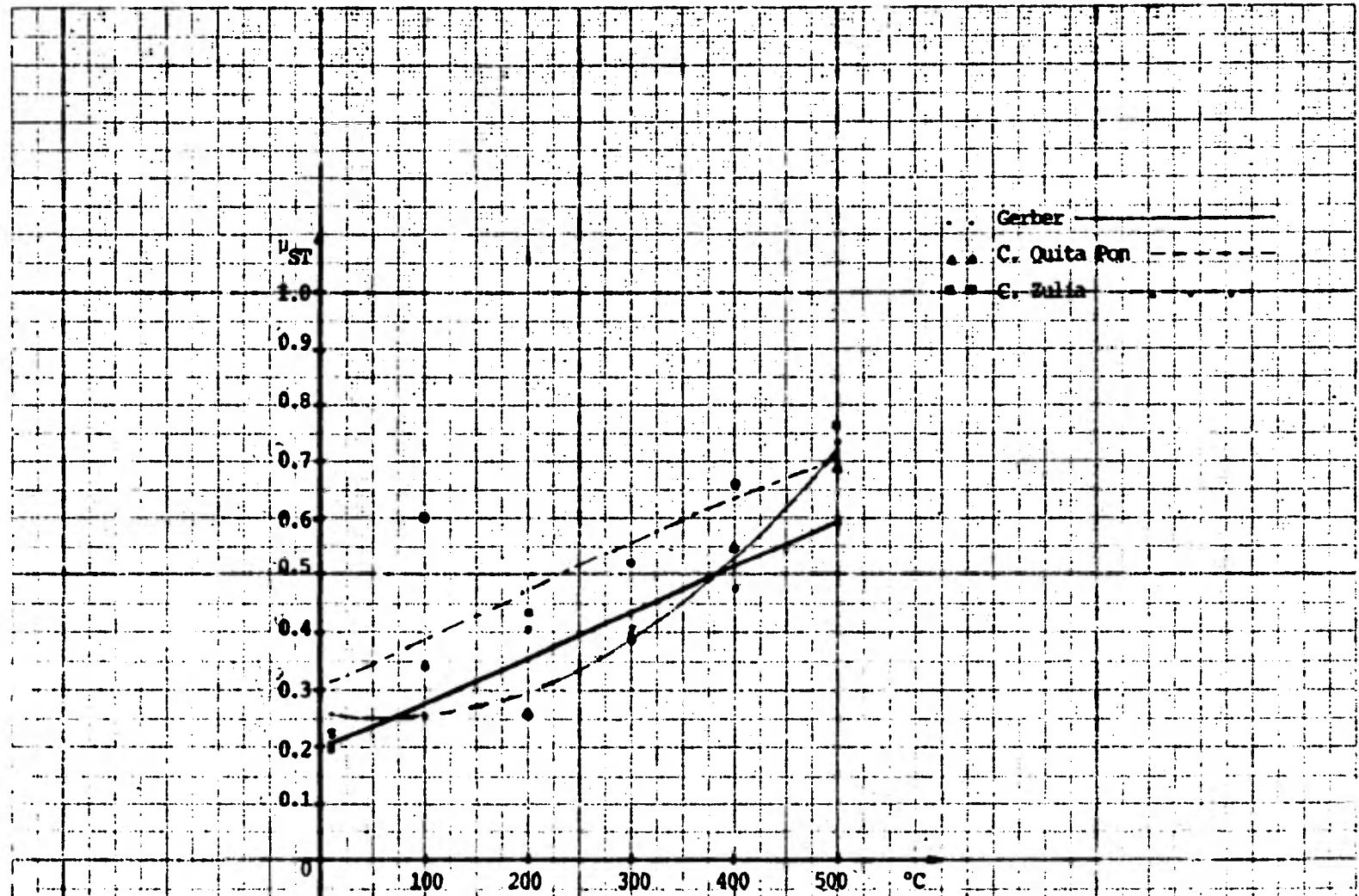


Fig 2.12. Coeficiente de fricción estática a diferentes temperaturas medidas en dirección longitudinal.

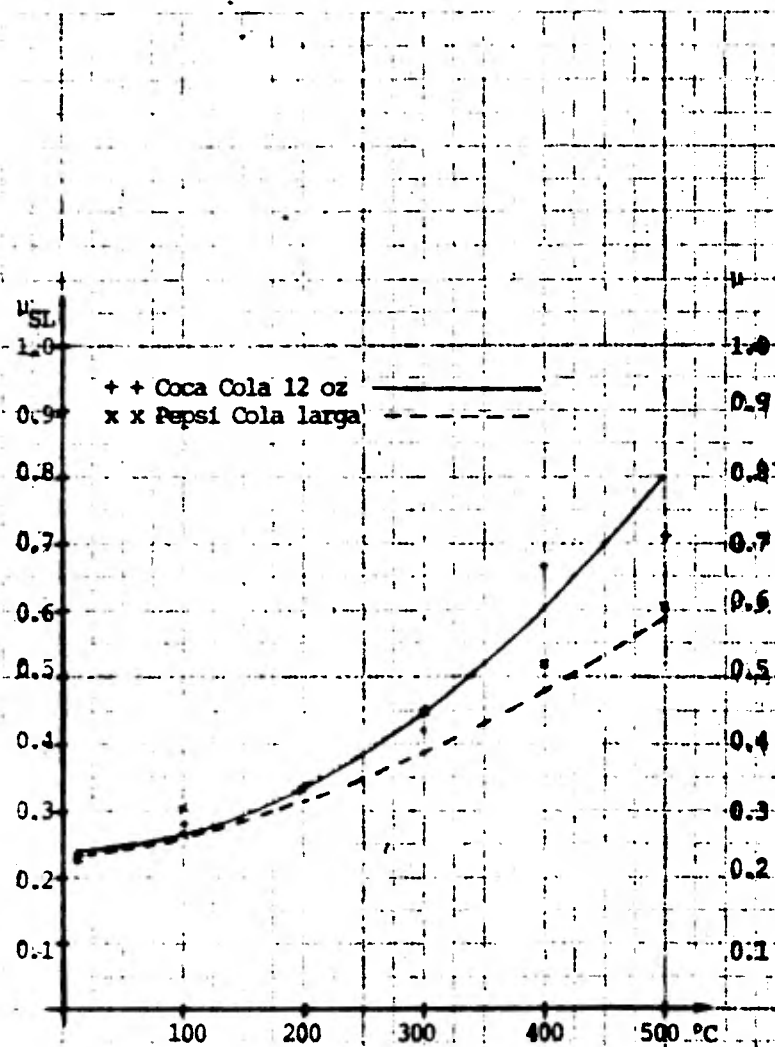


Fig 2.12. Coeficientes de fricción estática a diferentes temperaturas en dirección longitudinal

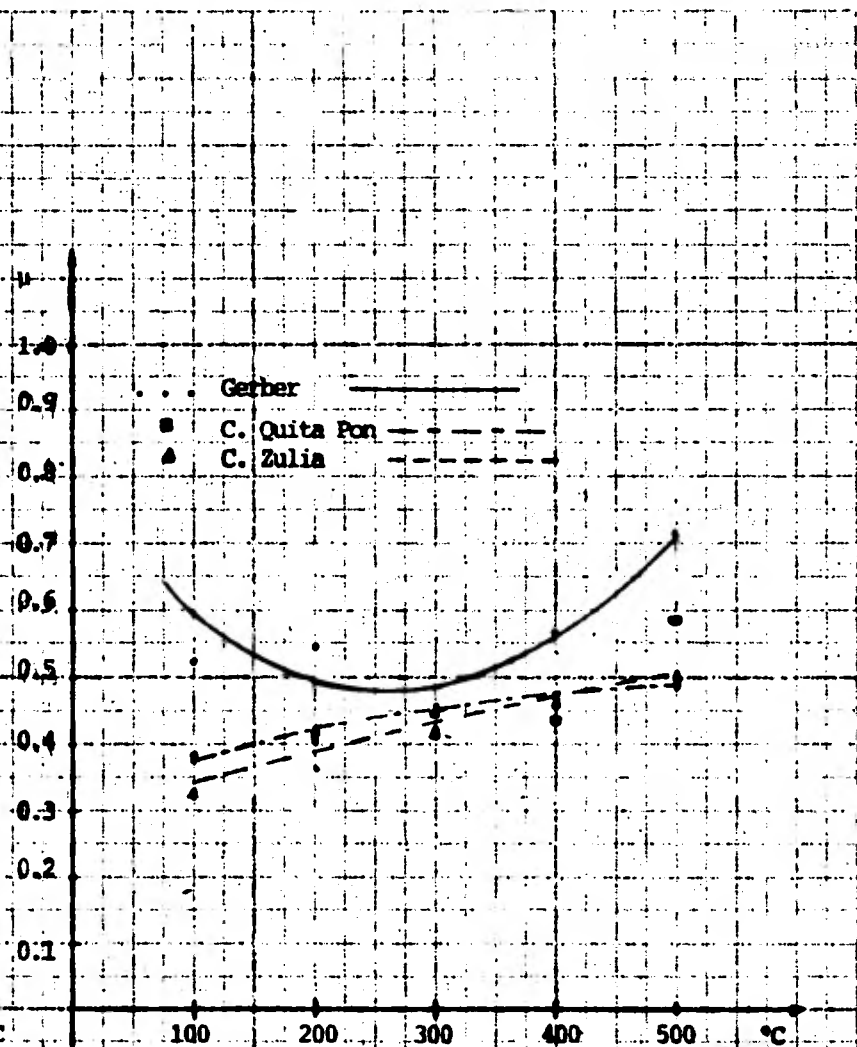


Fig 2.13. Coeficientes de fricción estática a diferentes temperaturas medidos sobre acero.

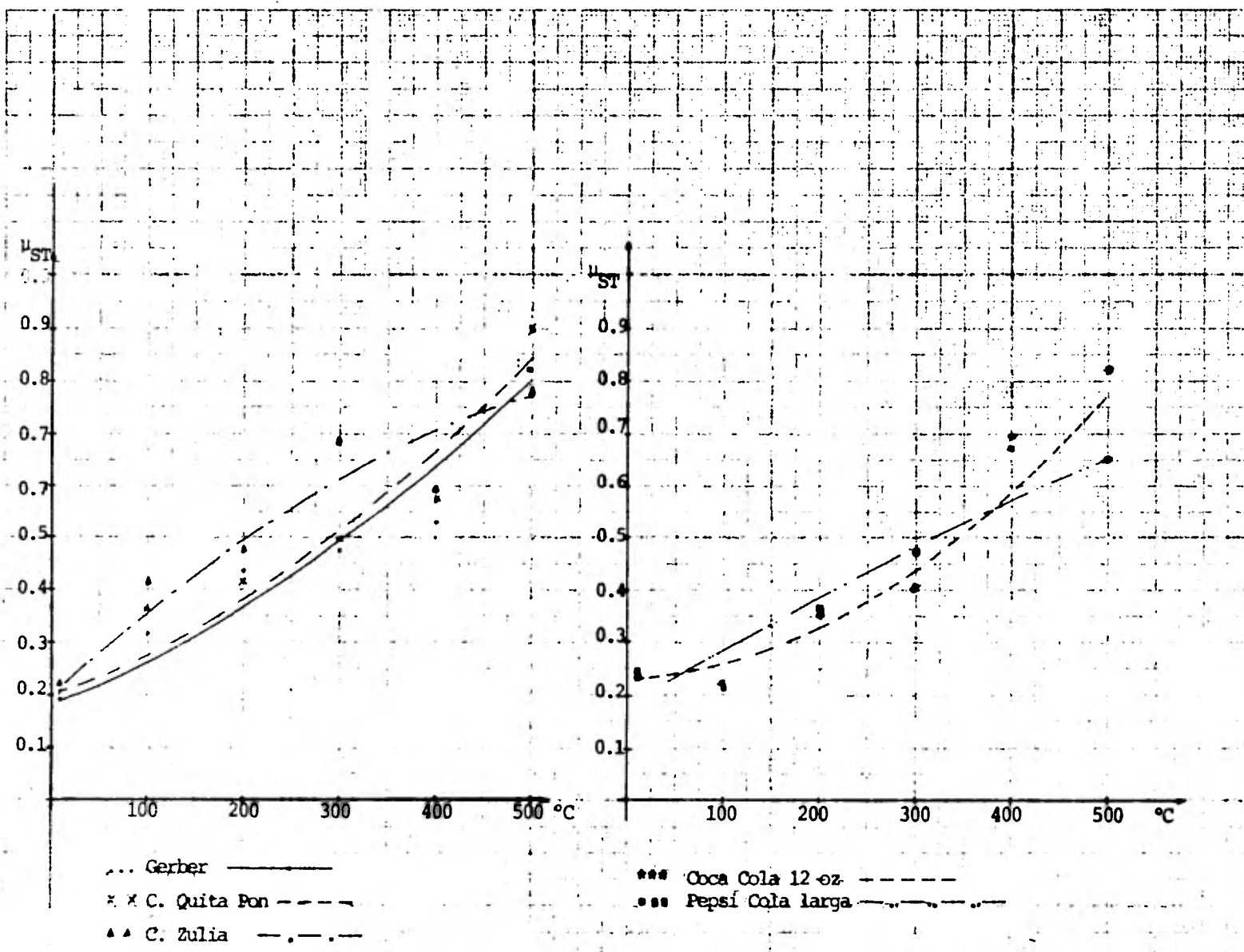


Fig 2.14 Coeficiente de fricción estática a diferentes temperaturas.
Dirección transversal.

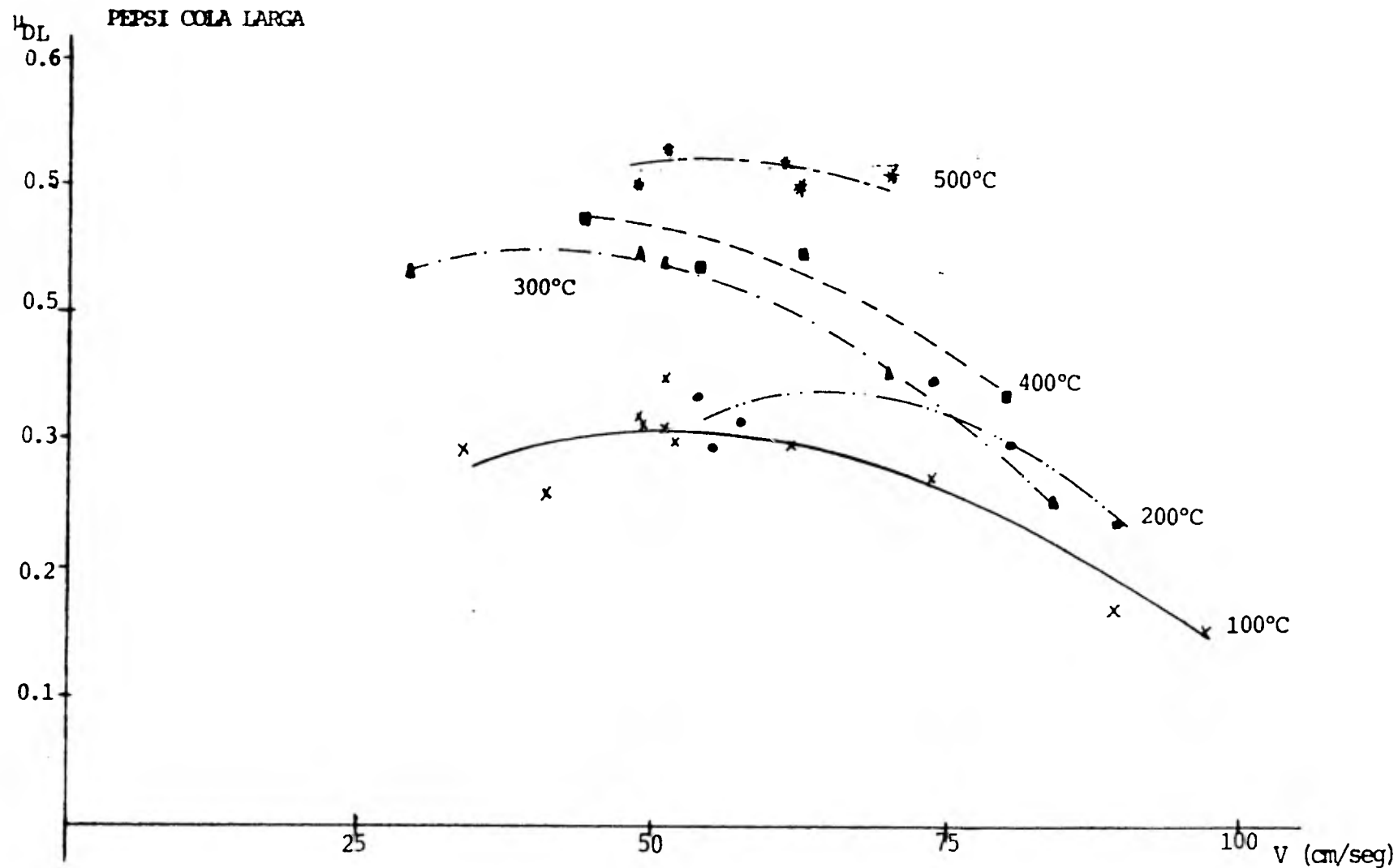


Fig 2.15 Coeficiente de fricción dinámica. Dirección longitudinal

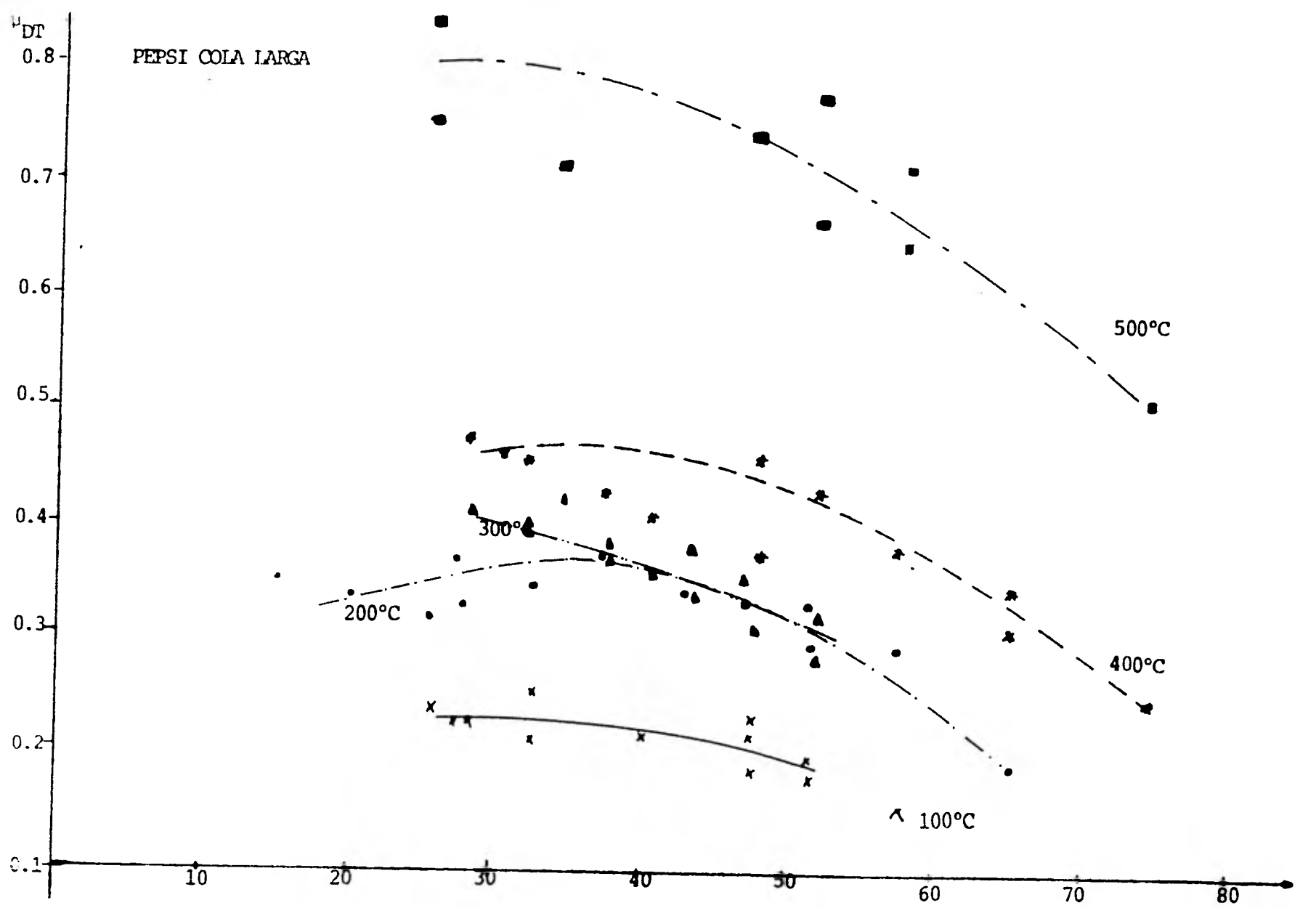


Fig 2.16 Coeficientes de fricción dinámica Dirección transversal

T E M P E R A T U R A S																				
ENVASE	100°				200°				300°				400°				500°			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
GERBER	--	.13	.11	--	--	.25	.17	.06	--	.27	.27	.01	--	--	.23	--	.53	.5	.55	--
CERVEZA QUITA PON	.31	.30	--	--	--	--	.20	.15	.30	.36	.29	.34	.45	.43	.45	.26	--	--	.49	.35
CERVEZA ZULIA	--	--	--	.11	--	.33	.31	.20	--	.39	.34	.19	.50	.52	.52	--	--	--	.41	.39
COCA COLA (12 oz)	--	.38	.37	--	--	--	.30	.18	--	.34	--	--	--	--	.51	.47	--	--	--	.41
PEPSI COLA LARGA	--	.29	.30	.17	--	--	.33	.23	--	.45	.40	.26	--	.50	.48	--	--	.47	.44	.35

TABLA 2.10 Valores promedio de los coeficientes de fricción dinámica en dirección longitudinal para cuatro intervalos de velocidad y diferente temperatura de los envases.

T E M P E R A T U R A S																				
ENVASE	100°				200°				300°				400°				500°			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
GERBER	.34	.32	.20	--	--	.35	.27	--	--	.42	.28	--	--	.45	.42	--	--	.54	.42	--
CERVEZA QUITA PON	.31	.29	.29	.40	.38	.28	.28	--	--	.39	.29	--	--	.41	.31	.34	--	--	.63	.40
CERVEZA ZULIA	--	--	.20	.25	.44	.40	.35	--	--	--	.39	--	--	.42	.27	--	--	--	.58	--
COCA COLA (12 oz)	.22	.24	.19	.07	.33	.33	.26	--	.37	.35	.30	--	--	.50	.37	--	--	--	.52	.15
PEPSI COLA LARGA	--	.22	.19	--	.35	.35	.29	--	--	.38	.31	--	--	.47	.38	--	--	.76	.65	.03

TABLA 2.11 Valores promedio de los coeficientes de fricción dinámica en dirección transversal para cuatro intervalos de velocidad y diferente temperatura de los envases.

A $0 < V < 25$ cm/seg
 B $25 \leq V < 50$ cm/seg

C $50 \leq V < 75$ cm/seg
 D $75 \leq V < 100$ cm/seg

SOBRE LA BANDA TRANSVERSAL								
DIRECCION LONGITUDINAL					DIRECCION TRANSVERSAL			
E N V A S E	VELOCIDADES 0 - 50 (cm/seg)		VELOCIDADES 50 - 100 (cm/seg)		VELOCIDADES 0 - 50 (cm/seg)		VELOCIDADES 50 - 100 (cm/seg)	
	μ DL	$\%$	μ DT	$\%$	μ DL	$\%$	μ DT	$\%$
GERBER	0.247	15.5	0.080	46.8	0.282	12.1	0.229	22.3
CERVEZA QUITA PON	0.196	2.8	0.146	25.2	0.170	11.1	0.064	84.1
CERVEZA ZULIA	0.228	18.1	0.181	36.0	0.254	10.7	0.292	----
COCA COLA 12 (OZ)	0.170	3.0	0.137	13.5	0.149	8.9	0.081	19.7
PEPSI COLA LARGA	0.186	1.5	0.141	13.7	0.217	6.7	0.161	24.6

Tabla 2.12 Coeficientes de fricción dinámica a temperatura ambiente.
(diferentes rangos de velocidad)

3. MODELOS PARA CALCULAR LA VELOCIDAD DE IMPACTO Y ACELERACION MAXIMA

Los modelos que se plantean a continuación se obtienen considerando un movimiento plano, y el movimiento de cualquier partícula del envase es paralelo a dicho plano.

3.1 Modelo para calcular el impacto máximo permisible

Como se dijo en el capítulo de generalidades, una de las causas por la cual los envases caen es el impacto que reciben del brazo empujador. El tratar con fenómenos de impacto establece que la fuerza impulsiva aplicada, como la generada, actúa durante un tiempo muy corto y es la única causante de cambios instantáneos de velocidad.

3.1.1 Giro en sentido antihorario

Cuando el brazo empujador hace contacto con el envase le aplica un impulso I_{Qx} en dirección horizontal en un punto Q situado a una cierta distancia f del centro de masa del envase; como consecuencia de ello se genera un impulso I_p en dirección vertical y otro en dirección horizontal de magnitud $\mu_s I_p$, iniciándose un giro en sentido antihorario (fig 3.1).

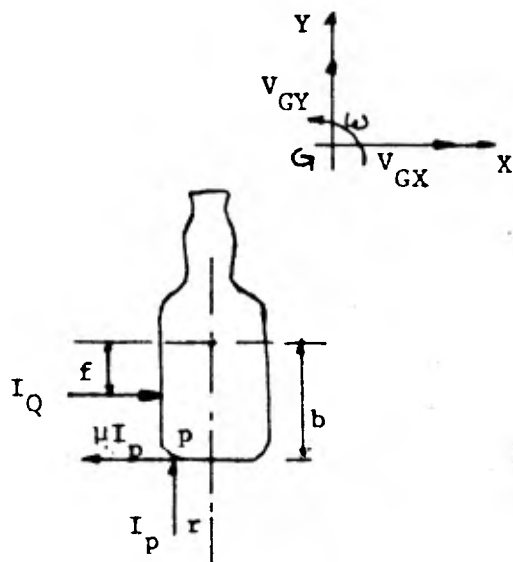


Fig 3.1. Giro en sentido antihorario

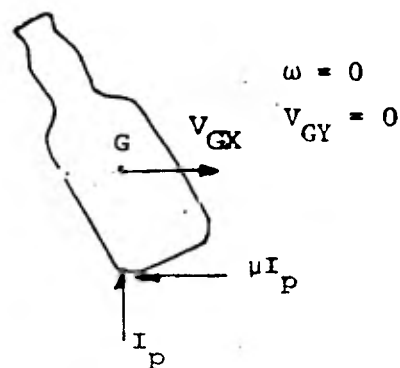


Fig 3.2. Elevación máxima del centro de masa

Para los componentes de la velocidad del centro de masa G , tenemos:

$$I_{Qx} - \mu_s I_p = m_o V_{Gx} \quad (3.1)$$

$$I_p = m_o V_{Gy} \quad (3.2)$$

y, tomando momentos con respecto al centro de masa,

$$f I_Q - r I_p - \mu_s b I_p = I^* \omega = m_o r_g^2 \omega \quad (3.3)$$

donde

ω = la velocidad angular (positivo en el sentido horario)

I^* = el momento de inercia (alrededor de G)

r_g = radio de giro

μ_s = coeficiente de fricción estático

Sustituyendo (3.1) y (3.2) en (3.3) se tiene:

$$\omega = \frac{V_{Gx} - V_{Gy} [r + \mu_s (b-f)]}{r_g} \quad (3.4)$$

Además sabemos que, la velocidad del punto p (punto de apoyo del envase durante el giro); puede calcularse como:

$$\bar{v}_p = \bar{v}_G + \bar{v}_{p/G}$$

dado que el punto P solo puede desplazarse en dirección horizontal

$$v_{py} = v_{Gy} + v_{(p/G)y} = 0$$

de donde

$$v_{py} = v_{Gy} - r\omega = 0 \quad (3.5)$$

Sustituyendo (3.4) en (3.5.) obtenemos:

$$V_{Gy} = \frac{rf}{r_g^2 + r\{r + \mu_s(b-f)\}} V_{Gx} \quad (3.6)$$

Ahora, si V es la velocidad del brazo empujador en el instante del impacto y e es el coeficiente de restitución, entonces

$$V_{Qx} = (1+e)V = V_{Gx} + f\omega \quad (3.7)$$

Sustituyendo (3.4) y (3.5) en (3.7) agrupando términos y despejando V_{Gx} tenemos

$$V_{Gx} = \left[\frac{r_g^2 + r^2 + \mu_s r(b-f)}{r_g^2 + r^2 + f^2 + \mu_s r(b-f)} \right] (1+e)V \quad (3.8)$$

y de (3.6),

$$V_{Gy} = \left[\frac{rf}{r_g^2 + r^2 + f^2 + \mu_s r(b-f)} \right] (1+e)V \quad (3.9)$$

Finalmente, sustituyendo (3.8) y (3.9) en (3.4)

$$\omega = \left[\frac{f}{r_g^2 + r^2 + f^2 + \mu_s r(b-f)} \right] (1+e)V \quad (3.10)$$

Las tres últimas ecuaciones describen el movimiento del envase, un instante después del impacto y proporcionan las condiciones iniciales del movimiento libre que ocurre inmediatamente después. Si V excede un cierto valor crítico el envase gira hasta caer. Esto último sucede si el centro de masa alcanza su elevación máxima (el punto G encima de p ;

ver fig 3.2) $V_{GY} = 0$. Si V tiene el valor crítico, la velocidad angular ω será igual a cero, cuando G llega a su máxima elevación teniendo entonces el envase una velocidad de traslación V_{GX} . La pérdida de energía cinética E_c durante el movimiento libre es igual a

$$E_c = \frac{1}{2} \left[m_o V_{GY}^2 + I^* \omega^2 \right] \quad (3.11)$$

donde V_{GY} y ω son valores iniciales.

En esta ecuación se ha despreciado la pérdida por fricción, suponiendo que es pequeña. Además, la elevación del centro de masa hasta su altura máxima corresponde a un incremento en la energía potencial por lo que

$$E_p = m_o g (\sqrt{b^2 + r^2} - b) \quad (3.12)$$

Igualando la pérdida de energía cinética al incremento de energía potencial

$$\frac{1}{2} m_o V_{GY}^2 + \frac{1}{2} I^* \omega^2 = m_o g (\sqrt{b^2 + r^2} - b) \quad (3.13)$$

Sustituyendo (3.9) y (3.10) en (3.13) y despejando V , tenemos

$$V = \left[\frac{r_g + r + f + \mu_s (b-r)}{f(1+e)} \right] \sqrt{\frac{2g(\sqrt{b^2+r^2} - b)}{r_g^2 + r}} \quad (3.14)$$

La expresión anterior presenta un mínimo y un máximo con respecto a f que corresponde a los valores

$$f = \pm \sqrt{r_g^2 + r(r + \mu_s b)} \quad (3.15)$$

El máximo de V ocurre para la solución positiva (impacto por debajo del centro de masa). Sin embargo el valor de f para el cual V es mínima no es igual a b (centro de masa del envase). En la mayoría de los envases el mínimo de V ocurre para $f > b$ (impacto abajo de la base del envase), pero existe la posibilidad que el mínimo de V ocurra para un impacto entre la base del envase y el centro de masa. En la tabla 3.1 se dan, para los envases seleccionados, los valores de f tales que la máxima velocidad de impacto permisible es mínima.

El valor de V , la velocidad del brazo empujador al hacer contacto con los envases, dada por (3.15) puede tomarse como el valor máximo permisible para que los envases no caigan si giran en sentido antihorario. Notése, además, que no siempre es conveniente elevar el punto de impacto. La ecuación (3.15) se evaluó en computadora con los datos experimentales (capítulo 2). Los resultados obtenidos, así como el listado de computadora se incluyen en el apéndice 4.

3.1.2 Giro en sentido horario

Supóngase ahora que el efecto del contacto con el brazo empujador, es hacer que el envase gire en sentido horario. La situación sería como la indicada en la figura 3.3.

En este caso se tiene

$$- \mu_s I_H + I_{Ox} = m V_{Gx}$$

$$I_H = m V_{Gy}$$

ENVASE	Altura al centro de masa (b) cm	DIRECCION TRANSVERSAL	
		Valor de f para impacto con velocidad mínima cm	Altura del punto de impacto para velocidad mínima del brazo, cm
1. Gerber	4.0	3.74	0.26
2. Cerveza Quita pón	6.0	6.32	0.0
3. Cerveza Zulía	8.3	7.37	0.93
4. Coca Cola 12 OZ	9.7	9.13	0.67
5. Pepsi Colar larga	11.0	8.21	2.79
6. Coca cola 26 OZ	10.4	11.11	0

TABLA 3.1. Altura del punto de impacto para la mínima velocidad máxima de impacto permitida.

$$I_Q f + I_H r - \mu_s I_H b = m_o r^2 \omega$$

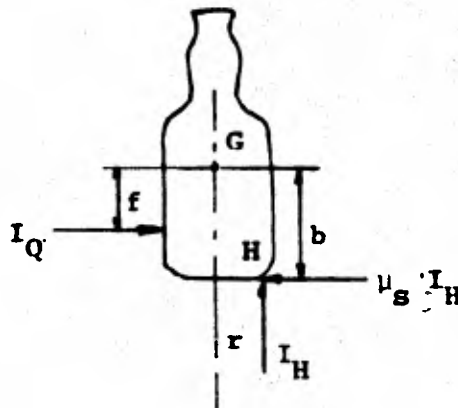


Fig 3.3. Giro en sentido horario

Sustituyendo valores y despejando ω

$$\omega = \frac{V_{Gy} (\mu_s (f-b) + r) + f V_{Gx}}{r_g^2} \quad (3.16)$$

Nuevamente el punto H no se despegue de la superficie de deslizamiento,

$$V_{Hy} = V_{Gy} + \omega r = 0 \quad (3.17)$$

Por otra parte

$$V_{Qx} = V_{Gx} + f\omega = (1+e)V$$

de donde efectuando las sustituciones correspondientes se llega a

$$V_{Gx} = \frac{r_g^2 + r^2 + \mu_s r(f-b)}{r_g^2 + f^2 + r^2 - \mu_s r(b-f)} (1+e)V \quad (3.18)$$

por tanto sustituyendo (3.18) en (3.17) y (3.15),

$$V_{Gy} = \frac{-rf}{r_g^2 + r^2 + f^2 - \mu_s r(b-f)} (1+e)V \quad (3.19)$$

y finalmente

$$\omega = \frac{f(1+e)V}{r_g^2 + f^2 + r^2 - \mu_s r(b-f)} \quad (3.20)$$

Las tres últimas ecuaciones representan las condiciones iniciales del movimiento libre del envase un instante después del impacto. Para que el modelo sea válido ω tiene que ser negativa (si no fuera así, querría decir que el giro se efectúa en sentido antihorario). Si el brazo empujador toca el envase a una altura menor que b , (altura del centro de masa) entonces $f > 0$ y para que ω sea negativa se requiere que

$$\mu_s r(b-f) > r_g^2 + f^2 + r^2 \quad (3.21)$$

como r^2, b^2, r_g^2 son mayores que cero, el valor mínimo de μ_s para que (3.20) se satisfaga será menor cuanto menor sea el valor de f . Considerando que $f \rightarrow 0$ (impacto en el centro de masa); (3.21) se convierte en:

$$\mu_s > \frac{r^2 + r^2}{rb} \quad (3.22)$$

Evaluando el lado derecho de la desigualdad se obtienen los datos de la tabla 3.2. Este valor es una cota mínima para que ocurra un giro en sentido horario; comparando esta cota con los coeficientes de fricción dinámica medidos, estos son siempre menores por lo que implica que los envases nunca podrían caerse hacia adelante después del primer impacto con el brazo empujador, sin embargo esto sí ocurre.

ENVASE	$\frac{r^2 + r^2}{r_g}$	LONGITUDINAL μ_s (máximo)	TRANSVERSAL medido)
1. Gerber	1.52	0.738	0.820
2. Cerveza Quita pón	2.37	0.699	0.906
3. Cerveza Zulia	2.50	0.768	0.783
4. Coca Cola 12 OZ	2.78	0.311	0.311
5. Pepsi Cola larga	1.87	0.604	0.671
6. Coca Cola 26 OZ	2.93	0.73	0.7

Tabla 3.2 Coeficientes estáticos máximos medidos y cotas mínimas para giro en sentido horario - cuando $f \rightarrow 0$

3.2 Modelo para calcular la aceleración máxima permisible

Una vez que el brazo empujador tiene contacto sostenido con el envase su aceleración puede ser grande y esto provoca un giro. Como en el caso del análisis de impacto, el giro puede ser en sentido horario o antihorario.

3.2.1 Giro en sentido antihorario

Considerando el diagrama de cuerpo libre de la figura 3.4, se supone que está a un punto de inclinarse hacia atrás, por lo que la normal N tiene contacto con la banda en el punto P de la base.

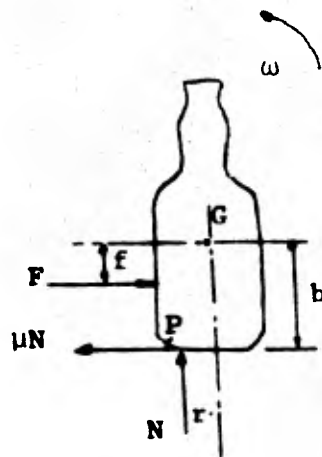


Fig 3.4 . Giro en sentido antihorario

Sea F la fuerza aplicada por el brazo empujador a una distancia f por debajo del centro de masa y con

$$\Sigma M_g = 0$$

$$f F - \mu_D b N - N r = 0$$

$$F = \frac{m_o g (r + \mu_D b)}{f} \quad (3.23)$$

$$\Sigma F_x = m a_{Gx}$$

$$F - \mu_D N = m a_{Gx} \quad (3.24)$$

sustituyendo (3.23) en (3.24) y despejando a_{Gx} tenemos

$$a_{Gx} = g \left[\mu_D \left(\frac{b}{f} - 1 \right) + \frac{r}{f} \right] \quad (3.25)$$

Esta ecuación representa el caso límite que no produce giro en sentido antihorario. Si esta aceleración fuera mayor que el lado derecho de (3.25) el envase volcaría hacia atrás. Por lo que si μ_D es suficientemente grande, es difícil que el envase vuelque hacia atrás. Los envases que tienen una relación r/b alrededor de la unidad podrán soportar mayor aceleración de empuje sin volcar hacia atrás. Ahora bien cuanto más cerca de la base esté el punto de apoyo del brazo empujador menor podrá ser la aceleración de empuje.

En el apéndice 4 se dan las aceleraciones máximas permisibles para los envases seleccionados.

3.2.2. Giro en sentido horario

Considerando el diagrama de cuerpo libre de la figura 3.5

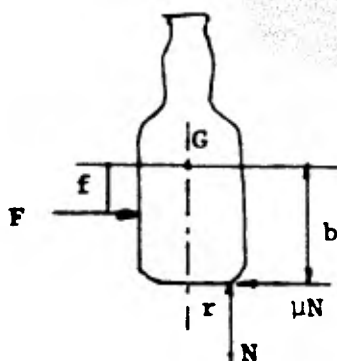


Fig 3.5. Posición del envase a punto de girar en sentido horario.

tenemos:

$$a_{Gx} = g \mu_D \left(\frac{b}{f} - 1 \right) - \frac{r}{f}$$

de tal modo que el giro en sentido horario no se presentará si se satisface la desigualdad

$$\frac{r}{f} > \mu_D \frac{b}{f} - 1 \quad (3.26)$$

Multiplicando ambos miembros por f se tiene

$$f > b - \frac{r}{\mu_D} \quad (3.27)$$

lo cual quiere decir que el punto de apoyo del brazo empujador debe estar por debajo del valor del lado derecho de la desigualdad (3.27). En la tabla 3.3 se da la altura máxima del punto de apoyo para los envases seleccionados, considerando los valores máximos de μ_D .

ENVASE	DIRECCION LONGITUDINAL
	Altura máxima del punto de apoyo = $\frac{r}{\mu_{DL}}$
1. GERBER	3.73
2. CERVEZA QUITA PON	5.15
3. CERVEZA ZULIA	4.00
4. COCA COLA 12 (oz)	14.73 *
5. PEPSI COLA LARGA	5.47
5. COCA COLA 26 (oz)	21.76 *

TABLA 3.3 Altura máxima del punto de apoyo para evitar giro por aceleración en sentido horario.

*Por encima del centro de masa

4. COMPORTAMIENTO BRAZO EMPUJADOR-ENVASE

Descripción

El brazo empujador comienza el ciclo de movimiento en la posición más retraída (punto a de la Fig A.1) avanza encima de la misma con una velocidad V_x , después de recorrer aproximadamente $1/5$ parte de la banda en dirección x ; imprime una componente de velocidad en dirección transversal (punto b, Fig A.1). Esta componente es mucho menor que la velocidad de la banda transversal, desplazándose así el brazo diagonalmente hasta llegar donde comienzan las placas muertas (punto c, Fig. A.1). A partir de esta región vuelve a desplazarse sólo hacia adelante; llega al principio de la banda del horno, donde deja los envases; se retrae una pequeña distancia y continúa su movimiento verticalmente; regresa moviéndose a una cierta altura sobre la banda y desciende a su posición inicial (punto a, Fig A.1) para empezar un nuevo ciclo. A la región que recorre del punto b al c, llamémosle región crítica de impacto, dado que en cualquier punto de ésta puede ocurrir el primer contacto brazo empujador-envases. Para tener una visión más exacta de lo que ocurre en esta región

se ha filmado el fenómeno y estudiado la película en la cual se observa lo siguiente:

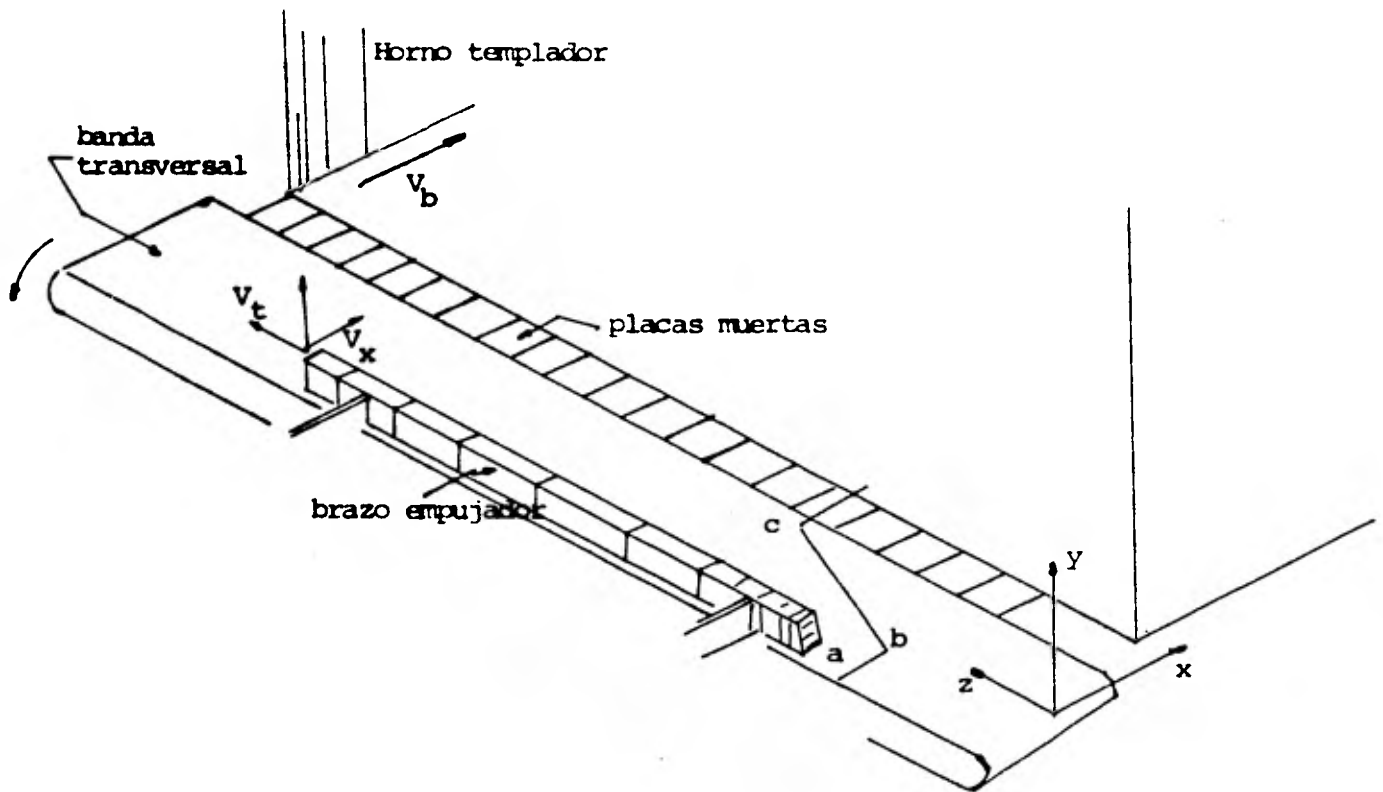


Fig A.1 Coordenadas de referencia para el conjunto de elementos en la transferencia de envases.

- 1) El contacto empujador-envases, así como el empuje de éstos, se hace lo más abajo posible de su centro de masa (ver Fig. A.2).
- 2) El tiempo de empuje es menor que el tiempo de regreso del brazo empujador a su posición inicial.

- 3) No existe un alineamiento entre banda transversal y placas muertas, formándose un pequeño escalón entre la unión de ambas (ver Fig. A.3).

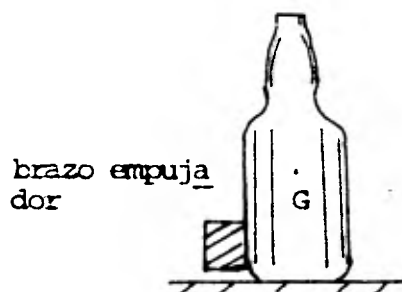


Fig. A.2 Posición de contacto brazo empujador-envase.

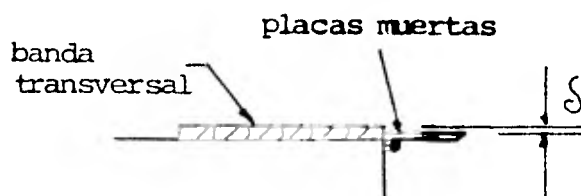


Fig. A.3 Formación de un escalón de altura δ en la unión banda transversal-placas muertas.

Variando el tiempo de ciclo del empujador, se observa que:

- 1) El brazo empujador no derriba los envases para tiempos grandes de ciclo.
- 2) Al ir disminuyendo el ciclo del empujador el impacto que se produce es cada vez más fuerte.
- 3) Para ciclos menores de 4 segundos la mayoría de los envases son derribados.
- 4) Hay un tiempo de ciclo crítico en el cual el brazo empujador derriba una cierta clase de envases, al parecer con características físicas de inestabilidad (centro de masa alto o gran esbeltez etc.).

Todas las observaciones anteriores son resultado de fenómenos que se generan a partir del primer contacto brazo empujador-envase y una disminución en el tiempo de ciclo del empujador. Como se sabe, el contacto brazo empujador-envase produce un primer impacto, a partir del cual el envase se aparta del brazo y empieza un movimiento libre, desplazándose hacia adelante y girando simultáneamente hacia atrás alrededor del punto P. En este lapso de movimiento libre puede suceder lo siguiente (ver Fig. 4.4):

- a) El envase llega a una inclinación máxima hacia atrás, regresa nuevamente hacia adelante y hace contacto con la banda transversal en el punto H (en su posición vertical), gira alrededor de este punto, desplazándose hacia adelante hasta que el brazo empujador lo alcanza, derribándolo si excede un ángulo máximo $\theta_{\text{máx}}$ (ver Fig. A.4).
- b) El brazo empujador alcanza al envase cuando está girando hacia atrás, produciéndose un nuevo impacto ya no en el punto de contacto inicial Q sino en un punto Q' más cercano al centro de masa iniciándose un proceso similar al del inciso a o bien pueden sucederse una serie de impactos hasta que el envase llega a la zona de transición donde pierde el equilibrio y cae por el escalón existente entre la banda transversal y placas muertas.
- c) El brazo empujador alcanza al envase precisamente cuando se produce el impacto sobre la banda transversal y generarse cualquiera de los anteriores fenómenos.

4.1 Modelo para el movimiento libre después de impacto alrededor del punto P.

Después del impacto el envase puede desplazarse hacia adelante y girar simultáneamente hacia atrás; en este movimiento puede llegar

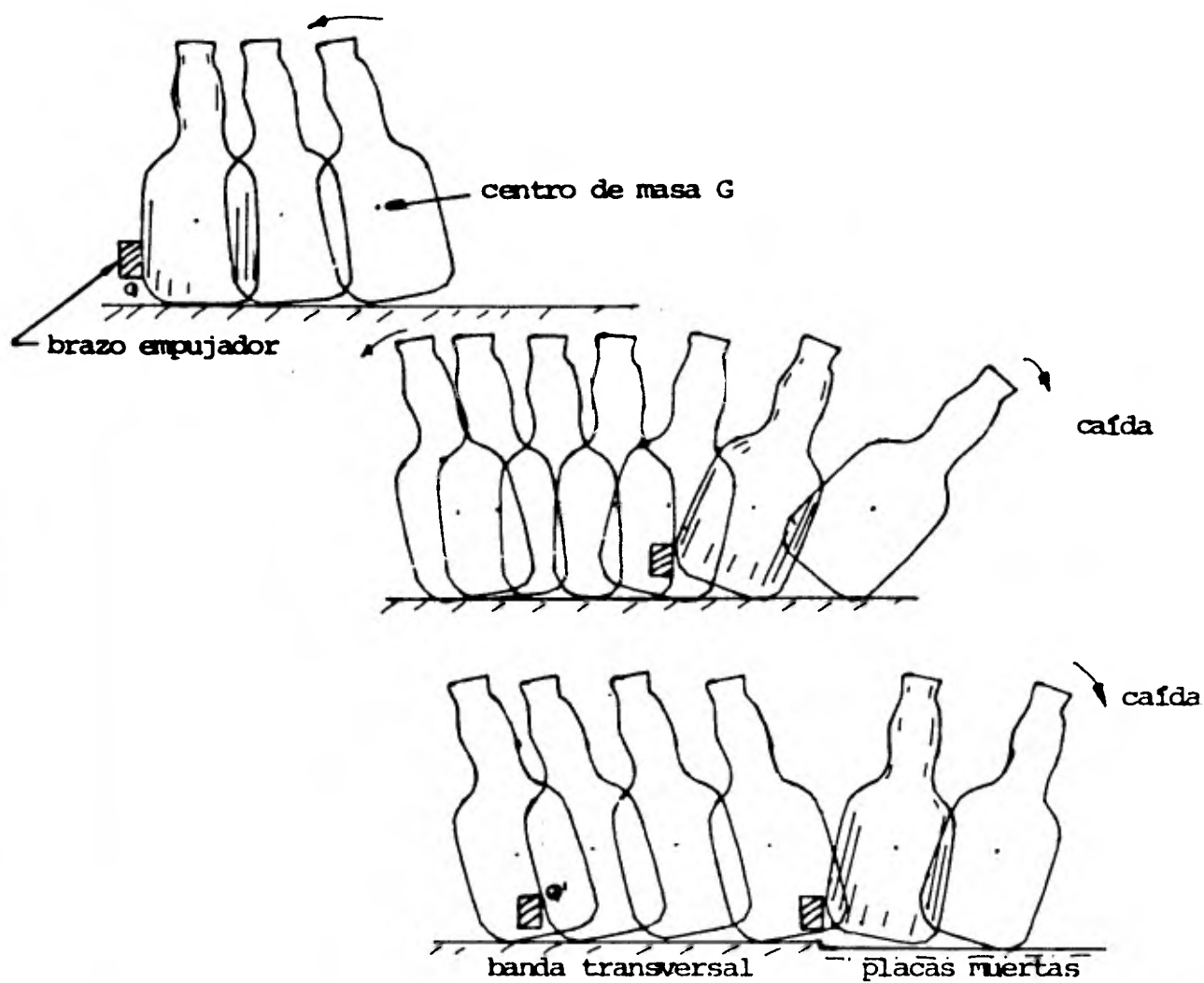


Fig. 4.4 Diferentes posiciones durante el empuje brazo empujador-envase (movimientos libres).

a una inclinación máxima, regresar e impactar sobre la banda, o bien llegar a una inclinación tal donde el centro de masa G y el punto giro P coinciden en la vertical, y cae hacia atrás. La segunda alternativa no ocurre al menos en el caso observado en la película simplemente porque el brazo empujador vuelve a alcanzar al envase mucho antes de que esto suceda, regresándolo a la posición vertical con otro impacto (ver Fig 4.1).

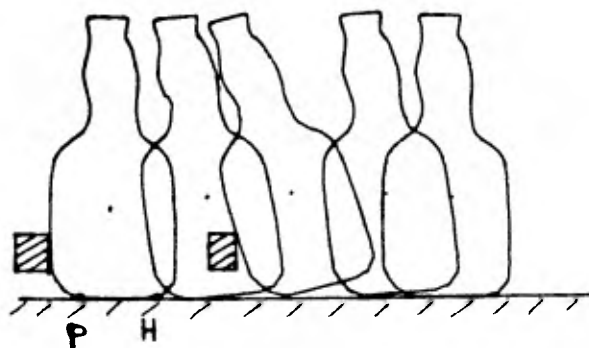


Fig 4.1

Por ahora supóngase que el brazo empujador no alcanza al envase y puede producirse el movimiento completo. Además, que suceda cualquiera de las dos alternativas mencionadas es sólo función de las condiciones iniciales impuestas al envase por impacto. El impacto fue analizado en el capítulo 2, por lo que se consideran ahora conocidas las condiciones iniciales del movimiento.

En la Fig 4.2 se presenta el diagrama de cuerpo libre del envase, en un instante cualquiera; el giro es alrededor de P en sentido antihorario.

Si \bar{a}_P es la aceleración de P, entonces la aceleración del centro de masa G será:

$$\bar{a}_G = \bar{a}_P + \bar{a}_{PG}$$

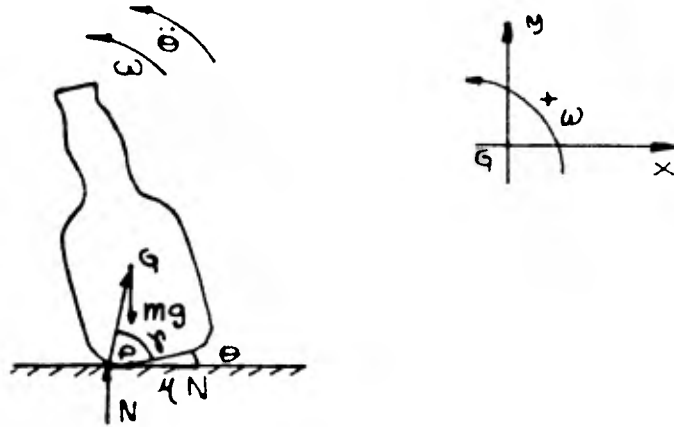
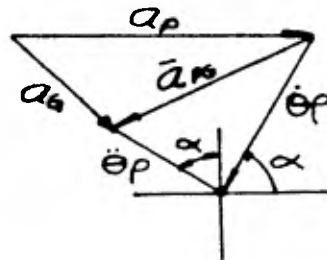


Fig. 4.2 Diagrama de cuerpo libre después de impacto alrededor del punto P.

y del siguiente diagrama de aceleraciones, donde $\alpha = \theta + \gamma$, tenemos:



$$a_{GX} = \ddot{x}_{PX} - \dot{\theta}^2 \rho \cos \alpha - \ddot{\theta} \rho \sin \alpha \quad (4.1)$$

$$a_{GY} = \ddot{x}_{PY} - \dot{\theta}^2 \rho \sin \alpha + \ddot{\theta} \rho \cos \alpha \quad (4.2)$$

Si el punto P no se despegua de la banda: $\ddot{x}_{PY} = 0$

Las ecuaciones de movimiento libre se obtienen al sumar fuerzas en dirección horizontal, vertical y momentos alrededor del centro de masa G:

$$\Sigma F_x = ma_{GX}$$

$$-\mu N = m(\ddot{x}_{PX} - \dot{\theta}^2 \rho \cos \alpha - \ddot{\theta} \rho \sin \alpha) \quad (4.3)$$

$$\Sigma F_y = ma_{GY}$$

$$N - mg = m(-\dot{\theta}^2 \rho \sin \alpha + \ddot{\theta} \rho \cos \alpha) \quad (4.4)$$

$$\Sigma M_G = I^* \ddot{\theta}$$

$$-N(\rho \cos \alpha + \mu \rho \sin \alpha) = mr_g^2 \ddot{\theta} \quad (4.5)$$

De 4.5 tenemos:

$$N = \frac{-mr_g^2 \ddot{\theta}}{\rho \cos \alpha + \mu \rho \sin \alpha} \quad (4.6)$$

Sustituyendo (4.6) en (4.4) y despejando $\dot{\theta}^2$ tenemos:

$$\dot{\theta}^2 = \frac{g}{\rho \sin \alpha} + \frac{\ddot{\theta}}{\rho \sin \alpha} \left[\frac{r_g^2}{\rho \cos \alpha + \mu \rho \sin \alpha} + \rho \cos \alpha \right] \quad (4.7)$$

Eliminando N y $\dot{\theta}^2$ de (4.3) mediante (4.6) y (4.7), y despejando \ddot{x}_{PX} :

$$\ddot{x}_{PX} = g \frac{\rho \cos \alpha}{\rho \sin \alpha} + \ddot{\theta} \frac{r_g^2 + \rho^2}{\rho \sin \alpha} \quad (4.8)$$

Reacomodando la ecuación (4.7) se llega a la siguiente ecuación diferencial:

$$\ddot{\theta} = \rho \frac{2\rho \cos(\theta+\gamma) \sin(\theta+\gamma) + \mu \sin(\theta+\gamma)}{r_g^2 + \rho^2 [\cos(\theta+\gamma) + \mu \sin(\theta+\gamma) \cos(\theta+\gamma)]} \dot{\theta}^2$$

$$+ g \frac{\rho \cos(\theta+\gamma) + \mu \sin(\theta+\gamma)}{r_g^2 + \rho^2 [\cos(\theta+\gamma) + \mu \sin(\theta+\gamma) \cos(\theta+\gamma)]} = 0 \quad (4.9)$$

que es una ecuación diferencial no lineal. Para su solución pueden seguirse dos caminos:

- simular dicha ecuación por medio de un paquete de computadora, o bien
- suponer que durante la rotación el movimiento es pequeño $\theta \leq 10^\circ$ por lo que se considera aceptable desprestigiar $\sin \theta$ con respecto a la unidad y hacer $\cos = 1$, con lo cual la ecuación (4.9) se puede simplificar a:

$$\ddot{\theta} - A \dot{\theta}^2 + B = 0 \quad (4.10)$$

donde A, B son constantes.

La segunda alternativa se considerara válida puesto que por observaciones que se hicieron en el filme θ es pequeño, excepto en la transición durante la caída. Ambas alternativas se comparan al final del capítulo para ángulos pequeños.

La solución de la ecuación (4.10) es buena aunque $\theta_{\text{máx}}$ sea grande, puesto que el brazo empujador alcanza al envase mucho antes de que esto suceda, regresándolo a la posición vertical. En conclusión queremos de la ecuación (4.10) sólo las condiciones iniciales para el siguiente impacto.

Para la ecuación (4.10) tenemos que:

$$A = \frac{b(\mu b + r)}{r_g^2 + r(r + \mu b)} ; \quad B = \frac{g(r + \mu b)}{r_g^2 + r(r + \mu b)} \quad (4.11)$$

hacemos $C^2 = B/A$, $\dot{\theta} = \omega$, $\ddot{\theta} = \dot{\omega}$

entonces:

$$\frac{1}{A} \int \frac{d\omega}{\omega^2 - c^2} = \int dt$$

cuya forma integrada es:

$$\frac{1}{2CA} \ln\left(\frac{\omega - c}{\omega + c}\right) = t + K$$

donde K es la constante de integración.

La solución anterior es válida cuando la normal N es positiva (de lo contrario el envase brinca). Por lo tanto, dado que

$$N = \frac{mr_g(g - \omega^2 \rho \text{sen} \alpha)}{r_g^2 + \rho^2(\text{cos} \alpha + \rho \text{sen} \alpha)}$$

se requiere que:

$$\omega^2 \leq \frac{g}{\rho \text{sen} \alpha}$$

como $\rho \text{sen} \alpha \approx b$

$$\omega^2 \leq \frac{g}{b}$$

por lo que:

$$C^2 = \frac{g}{b}, \quad \omega^2 \leq C^2$$

Por tanto tenemos valores críticos que son otro límite para la velocidad de impacto permisible. Estos valores son calculados en la tabla 4.1 para los envases seleccionados. Regresando a la ecuación 4.11 y aceptando las anteriores condiciones tenemos:

$$\omega(t) = C \left[\frac{(C+\omega_0) - (C-\omega_0) e^{2CA\dot{t}}}{(C+\omega_0) + (C-\omega_0) e^{2CA\dot{t}}} \right] \quad (4.12)$$

$$\dot{\omega}(t) = - \frac{4C^2A(C-\omega_0) e^{2CA\dot{t}}}{[(C+\omega_0) + (C-\omega_0) e^{2CA\dot{t}}]} \quad (4.13)$$

$$\ddot{x}_p(t) = \frac{4C^2A(r_g^2 + \rho^2)(C^2 - \omega_0^2) e^{2CA\dot{t}}}{b [(C+\omega_0) + (C-\omega_0) e^{2CA\dot{t}}]} + g \frac{r}{b} \quad (4.14)$$

Para la condición inicial $\theta(0) = 0$

$$\theta(t) = Ct + \frac{1}{A} \ln \left[\frac{2C}{(C+\omega_0) + (C-\omega_0) e^{2CA\dot{t}}} \right] \quad (4.15)$$

envase	ω (rad/seg)
Gerber	15.66
c. Quita Pon	12.78
c. Zulia	10.87
Coca Cola 12 oz	10.05
Pepsi cola larga	9.44

TABLA 4.1 Valores críticos en la velocidad angular que limitan la velocidad de impacto permisible.

Para encontrar el instante de tiempo para el cual θ es máximo, el miembro derecho de la ecuación 4.12 se iguala a cero, obteniéndose:

$$t = \frac{1}{A} \ln \left(\frac{C + \omega_0}{C - \omega_0} \right) \quad (4.16)$$

$\theta_{\text{máx}}$ se obtiene al sustituir 4.16 en 4.15, quedando:

$$\theta_{\text{máx}} = \frac{1}{A} \ln \left(\frac{C}{C^2 - \omega_0^2} \right) \quad (4.17)$$

Por otra parte θ es igual a cero para dos tiempos, el inicial y cuando el envase regresa a la posición vertical y choca con la banda. Igualando a cero el miembro derecho de la ecuación 4.15 e introduciendo $z = e^{CA t}$, llegamos a la siguiente ecuación cuadrática:

$$z^2 - \frac{2C}{C - \omega_0} z + \frac{C + \omega_0}{C - \omega_0} = 0$$

Las raíces de la ecuación anterior son:

$$z_1 = 1$$

$$z_2 = \left(\frac{C + \omega_0}{C - \omega_0} \right)$$

La primera corresponde a $t = 0$ y la segunda a

$$t_1 = \frac{1}{CA} \ln \left(\frac{C + \omega_0}{C - \omega_0} \right) \quad (4.18)$$

para la posición vertical del envase. Sustituyendo 4.18 en 4.12 se obtiene la velocidad angular correspondiente.

$$\omega_1 = -\omega_0 \quad (4.19)$$

Integrando 4.14 dos veces se obtiene la velocidad y el desplazamiento. Introduciendo $\dot{x}_p(0) = \dot{x}_{p0}$, $x_p(0) = 0$;

$$\dot{x}_p(t) = \frac{r^2 + \rho^2}{b} (\omega(t) - \omega_0) + \frac{gr}{b} t + \dot{x}_{p0} \quad (4.20)$$

$$x_p(t) = \frac{r^2 + \rho^2}{b} (\theta(t) - \omega_0 t) + \frac{gr}{2b} t^2 + \dot{x}_{p0} t \quad (4.21)$$

Integrando 4.1 y 4.2 se obtiene

$$V_{GX}(t) = \dot{x}_p(t) - \dot{x}_{p0} + b(\omega_0 - \omega(t)) + V_{GX0} \quad (4.22)$$

$$X_{GX}(t) = x_p(t) + b(\omega_0 t - \theta(t)) + (V_{GX0} - \dot{x}_{p0})t \quad (4.23)$$

$$V_{GY}(t) = r(\omega(t) - \omega_0) + V'_{GY0} \quad (4.24)$$

$$X_{GY}(t) = r\theta(t) + (V_{GY0} - \omega_0 r)t \quad (4.25)$$

Con estas últimas ecuaciones y las condiciones iniciales se tiene el modelo completo para el movimiento libre alrededor del punto P.

4.2 Movimiento libre alrededor del punto H

Este movimiento libre alrededor del punto H puede suceder inmediatamente después que el envase ha tenido un impacto con la banda transversal debido a un impacto cerca del centro de masa del envase con el brazo empujador (Ver fig 4.3).

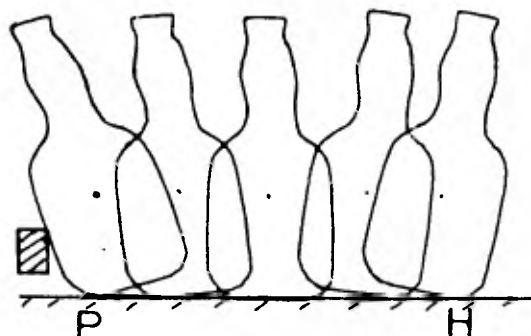


Fig. 4.3 Movimientos libres del envase.

La fig 4.4 representa el diagrama de cuerpo libre del envase en un instante cualquiera.

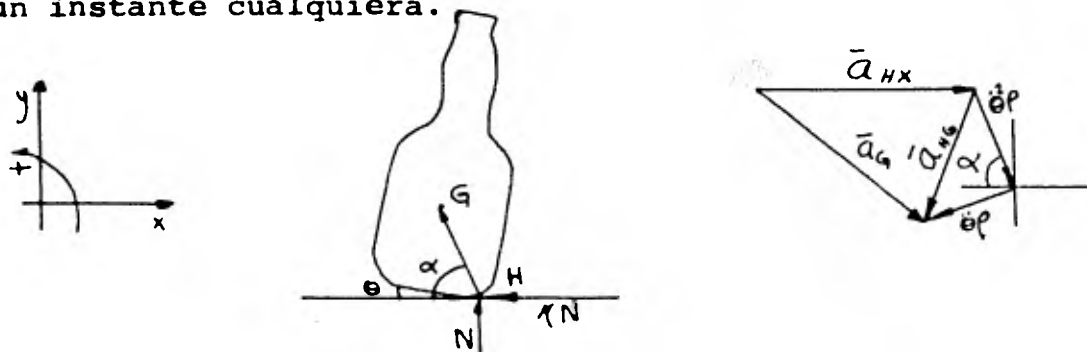


Fig 4.4 . Diagrama de cuerpo libre

donde $\alpha = \theta + \gamma$; $\gamma = \text{tg}^{-1}\left(\frac{b}{r}\right)$

Del diagrama de aceleraciones

$$a_{GX} = \ddot{x}_{HX} - \ddot{\theta}_p \text{sen} \alpha + \dot{\theta}_p^2 \text{cos} \alpha \quad (4.26)$$

$$a_{GY} = -\ddot{\theta}_p \text{cos} \alpha - \dot{\theta}_p^2 \text{sen} \alpha \quad (4.27)$$

Sumando fuerzas en dirección horizontal, vertical y tomando momentos alrededor del punto G, se tiene:

$$F = ma_{GX}$$

$$-\mu N = m(\ddot{X}_{HX} - \theta \rho \text{sena} + \dot{\theta}^2 \rho \text{cosa}) \quad (4.28)$$

$$F = ma_{GY}$$

$$N - \mu mg = m(-\ddot{\theta} \rho \text{sena} - \dot{\theta}^2 \rho \text{sena}) \quad (4.29)$$

$$M_G = I \ddot{\theta}$$

$$N(\rho \text{cosa} - \mu \rho \text{sena}) = m r_g^2 \ddot{\theta} \quad (4.30)$$

Despejando N de 4.30 y sustituyendo en 4.29 obtenemos $\dot{\theta}^2$ en función de $\ddot{\theta}$

$$\dot{\theta}^2 = - \left[\frac{r_g^2 + \rho \text{cosa}(\rho \text{cosa} - \mu \rho \text{sena})}{\rho \text{sena}(\rho \text{cosa} - \mu \rho \text{sena})} \right] \ddot{\theta} + \frac{g}{\rho \text{sena}} \quad (4.31)$$

igualando esta expresión a cero se tiene:

$$\ddot{\theta} + \frac{\rho \text{sena}(\rho \text{cosa} - \mu \rho \text{sena}) \dot{\theta}^2}{r_g^2 + \rho \text{cosa}(\rho \text{cosa} - \mu \rho \text{sena})} - g \frac{\rho \text{cosa} - \mu \rho \text{sena}}{r_g^2 + \rho \text{cosa}(\rho \text{cosa} - \mu \rho \text{sena})} = 0 \quad (4.32)$$

Recordando que $\alpha = \theta + \gamma$, se observa que

la ecuación 4.32 es una ecuación diferencial no lineal, pero nuevamente despreciando $\text{sen} \theta$ con respecto a la unidad y $\text{cos} \theta = 1$ la ecuación puede simplificarse a la forma siguiente:

$$\ddot{\theta} + A\dot{\theta}^2 - B = 0 \quad (4.33)$$

donde

$$A = \frac{b(r-\mu b)}{r_g^2 + r(r-\mu b)} \quad B = \frac{g(r-\mu b)}{r_g^2 + r(r-\mu b)}$$

la ecuacion 4.33 se integra por separacion de variables. Sea

$$c^2 = \frac{B}{A}, \quad \omega = \frac{d\theta}{dt} \quad \text{entonces:}$$

$$\frac{1}{A} \int \left(\frac{d\omega}{c^2 - \omega^2} \right) = \int dt \quad (4.34)$$

cuya forma integrada es

$$\frac{1}{2cA} \ln \left(\frac{c + \omega_0}{c - \omega_0} \right) = t + K$$

donde K es la constante de integraci3n.

El an3lisis anterior s3lo tiene validez cuando la normal N es positiva; dado que

$$N = \frac{r_g^2 (g - \dot{\theta}^2 b)}{r_g^2 + r(r-\mu b)}$$

se requiere que:

$$\omega^2 \leq \frac{g}{b} \quad \omega^2 \leq c^2$$

$$\mu_D \leq \frac{r_g^2 + r^2}{b r}$$

Si estas condiciones se violaran, el envase brincar3a.

Considerando $\omega(0) = \omega_0$ y haciendo las sustituciones respectivas tenemos:

$$\omega(t) = c \left[\frac{(C + \omega_0)e^{2CA t} + (\omega_0 - C)}{(C + \omega_0)e^{2CA t} - (\omega_0 - C)} \right] \quad (4.35)$$

$$\dot{\omega}(t) = \frac{-4C^2 A (\omega_0^2 - C^2) e^{2CA t}}{[(C - \omega_0) + (C + \omega_0)e^{2CA t}]^2} \quad (4.36)$$

$$\theta(t) = -Ct + \frac{1}{A} \ln \left[\frac{(C - \omega_0) + (C + \omega_0)e^{2CA t}}{2C} \right] \quad (4.37)$$

$$\ddot{x}_{HX}(t) = \frac{r^2 + \rho^2}{b} \omega(t) - \frac{gr}{b}$$

$$\dot{x}_{HX}(t) = \frac{r^2 + \rho^2}{b} (\omega(t) - \omega_0) - \frac{gr}{b} t + V_{HXO}$$

$$x_{HX}(t) = \frac{r^2 + \rho^2}{b} (\theta(t) - \omega_0 t) - \frac{gr}{2b} t^2 + V_{HXO}$$

Integrando 4.26 y 4.27 se tiene:

$$V_{GX}(t) = x_{HX}(t) - x_{HXO} + b(\omega_0 - \omega(t)) + V_{GXO}$$

$$x_{GX}(t) = x_{HX}(t) + (V_{GXO} - x_{HXO})t + b(\omega_0 t - \omega(t))$$

$$V_{GY}(t) = r(\omega_0 - \theta(t)) + V_{GYO}$$

$$x_{GY}(t) = (V_{GYO} + r\omega_0)t - r\theta(t)$$

Además el tiempo para el cual θ es máximo es:

$$t_{\theta \text{ máx}} = \frac{1}{2CA} \ln \left(\frac{C - \omega_0}{C + \omega_0} \right)$$

Sustituyendo en 4.37

$$\theta_{\text{máx}} = \frac{1}{A} \ln \left(\frac{C^2 - \omega_0^2}{C} \right)$$

Por otra parte, los tiempos en que $\theta(t) = 0$ son; $t = 0$ y

$$t_{\theta(0)} = \frac{1}{AC} \ln \left(\frac{C - \omega_0}{C + \omega_0} \right)$$

Con estas ecuaciones y las condiciones iniciales tenemos el modelo para el movimiento libre alrededor del punto H.

4.3 Impacto durante el movimiento libre alrededor del punto P

Este modelo supone que existe un impacto durante el movimiento libre alrededor del punto P.

El nuevo punto de impacto Q' va a depender de la forma del envase y del ancho del brazo empujador (ver fig 4.5).

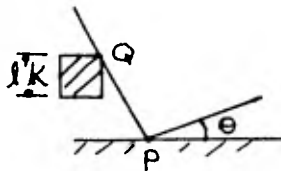
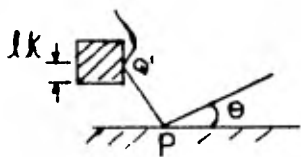


fig 4.5

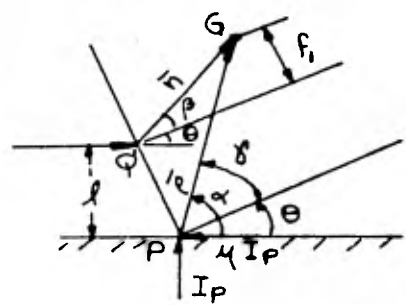
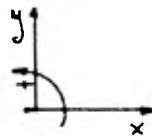


fig 4.6

El movimiento que tiene el envase en el momento de impacto se considera como condición inicial.

Sean \bar{n} y \bar{p} los vectores de posición de los puntos de impacto.

$$|\bar{p}| = \sqrt{r^2 + b^2}$$

$$|\bar{n}| = \sqrt{r^2 + f_1^2}$$

la distancia l queda definida como:

$$l = l_k + b - f$$

donde:

b = altura al centro de masa

f = altura del brazo empujador con respecto al centro de masa del envase

l_k = ancho del brazo empujador

Del diagrama de cuerpo libre de la Fig 4.6 se obtienen las siguientes relaciones.

$$\alpha = \theta + \gamma$$

$$\xi = \frac{\pi}{2} - \theta$$

$$f_1 = b - \frac{l}{\text{sen}\xi}$$

$$\beta = \text{tg}^{-1} \frac{f_1}{r}$$

Para las componentes de la velocidad del centro de masa tenemos:

$$I_{QX} - \mu I_P = m(V_{GX1} - V_{GXO}) \quad (4.39)$$

$$I_P = m(V_{GY1} - V_{GYO}) \quad (4.40)$$

$$I_{QX}(\rho \text{sen}\alpha - l) - \mu I_P \rho \text{sen}\alpha - I_P \rho \text{cos}\alpha = m r_g^2 (\omega_1 - \omega_0) \quad (4.41)$$

Haciendo las sustituciones correspondientes en 4.41 y despejando ω_1

$$\omega_1 = \omega_0 + \frac{(V_{GX1} - V_{GXO})(\rho \text{sen}\alpha - l) - (V_{GY1} - V_{GYO})(\rho \text{cos}\alpha + \mu l)}{r_g^2} \quad (4.42)$$

Ahora, como el punto P sólo se desplaza en dirección horizontal tenemos:

$$V_{PY1} = V_{GY1} - \omega_1 \rho \text{cos}\alpha = 0 \quad (4.43)$$

sustituyendo 4.42 en 4.43

$$V_{GY1} = \frac{\rho \text{cos}\alpha \omega_0 r_g^2 + (V_{GX1} - V_{GXO})(\rho \text{sen}\alpha - l) + V_{GYO}(\rho \text{cos}\alpha + \mu l)}{r_g^2 + \rho \text{cos}\alpha(\rho \text{cos}\alpha + \mu l)} \quad (4.44)$$

También sabemos que:

$$V_{QX1} = V_{GX1} + \omega_1 n \text{sen}(\theta + \beta) = V + e(V - V_{QXO}) \quad (4.45)$$

donde e es el coeficiente de restitución; sustituyendo 4.42 en 4.45 se llega a:

$$V_{GX1} = \frac{n \text{sen}(\theta + \beta) V_{GXO}(\rho \text{sen}\alpha - l) - V_{GYO}(\rho \text{cos}\alpha + \mu l) - r_g^2 \omega_0}{r_g^2 + \rho \text{cos}\alpha(\rho \text{cos}\alpha + \mu l) + n \text{sen}(\theta + \beta)(\rho \text{sen}\alpha - l)} + \frac{V + e(V - V_{QXO}) r_g^2 + \rho \text{cos}\alpha(\rho \text{cos}\alpha + \mu l)}{r_g^2 + \rho \text{cos}\alpha(\rho \text{cos}\alpha + \mu l) + n \text{sen}(\theta + \beta)(\rho \text{sen}\alpha - l)} \quad (4.46)$$

Con las ecuaciones 4.46 y 4.44 en 4.42 se obtiene ω_1 ; por lo tanto éstas son las condiciones iniciales para el movimiento libre siguiente.

4.3 Impacto durante el movimiento libre alrededor del punto H

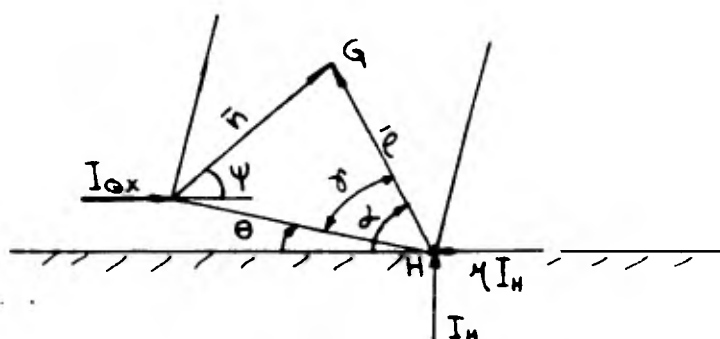


Fig 4.7. Diagrama de cuerpo libre

En la fig 4.7 se observa la inestabilidad en que se encuentra el envase si existe un impacto durante el movimiento libre alrededor del punto H. Es de esperarse que este impacto derribe al envase hacia adelante si θ rebasa un cierto límite o μ es lo suficientemente grande.

De la fig 4.7 se obtiene :

$$\alpha = \theta + \gamma \quad |\bar{\rho}| = |\bar{n}| = \sqrt{r^2 + b^2}$$

$$\psi = \alpha - 2\theta$$

Aplicando los mismos principios que en los anteriores modelos, se tiene:

$$-\mu I_H + I_{OX} = m (V_{GX1} - V_{GX0}) \quad (4.47)$$

$$I_H = m (V_{GY1} - V_{GY0}) \quad (4.48)$$

$$I_{OX} n \sin \psi + I_H \rho \cos \alpha - I_H \rho \sin \alpha = m r_g^2 (\omega_1 - \omega_0) \quad (4.49)$$

Haciendo las sustituciones pertinentes en 4.49 y despejando ω_1 tenemos:

$$\omega_1 = \omega_0 + \frac{(V_{GY1} - V_{GYO}) [\rho \cos \alpha + \mu (n \sin \psi - \rho \sin \alpha)] + (V_{GY1} - V_{GYO}) n \sin \psi}{r_g^2} \quad (4.50)$$

Nuevamente

$$V_{HY1} = V_{GY1} + \omega_1 \rho \cos \alpha = 0 \quad (4.51)$$

y sustituyendo ω_1 en 4.51

$$V_{GY1} = - \frac{\rho \cos \alpha [r_g^2 \omega_0 - V_{GYO} (\rho \cos \alpha + \mu (n \sin \psi - \rho \sin \alpha)) + (V_{GX1} - V_{GXO}) n \sin \psi]}{r_g^2 + \rho \cos \alpha [\rho \cos \alpha + \mu (n \sin \psi - \rho \sin \alpha)]} \quad (4.52)$$

Además:

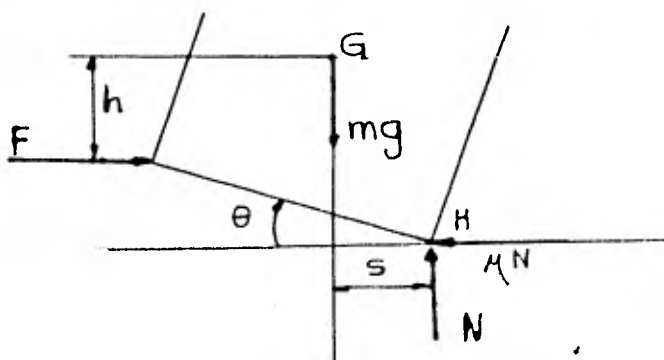
$$V_{QX1} = V + e(V - V_{QXO}) = V_{GX1} + \omega_1 n \cos \psi \quad (4.53)$$

y haciendo $k = \rho \cos \alpha + \mu (n \sin \psi - \rho \sin \alpha)$ se tiene que:

$$V_{GX1} = \frac{n \cos \psi (k V_{GYO} + n \sin \psi V_{GXO} - r_g^2 \omega_0) + (r_g^2 + k \rho \cos \alpha) [V - e(V - V_{QXO})]}{r_g^2 + k \rho \cos \alpha + n^2 \sin^2 \psi} \quad (4.54)$$

Con V_{GY1} y V_{GX1} dadas por 4.52 y 4.51 se obtiene ω_1 .

En estas ecuaciones no se puede obtener fácilmente un criterio de estabilidad que nos diga si el envase cae o no, pero del diagrama siguiente:



Se observa que si F es la fuerza necesaria para el envase se desplace, la cual puede suponerse es igual μN , entonces θ tiene una cota superior. Esta cota se establece como sigue:

θ es máximo cuando $\omega = 0$, para lo cual

$$-Fh - Ns + \mu N(b \cos\theta + r \operatorname{sen}\theta) = 0$$

Si $F = N$, $N = mg$

$$s = r \cos\theta - b \operatorname{sen}\theta$$

$$h = b \cos\theta - r \operatorname{sen}\theta$$

entonces

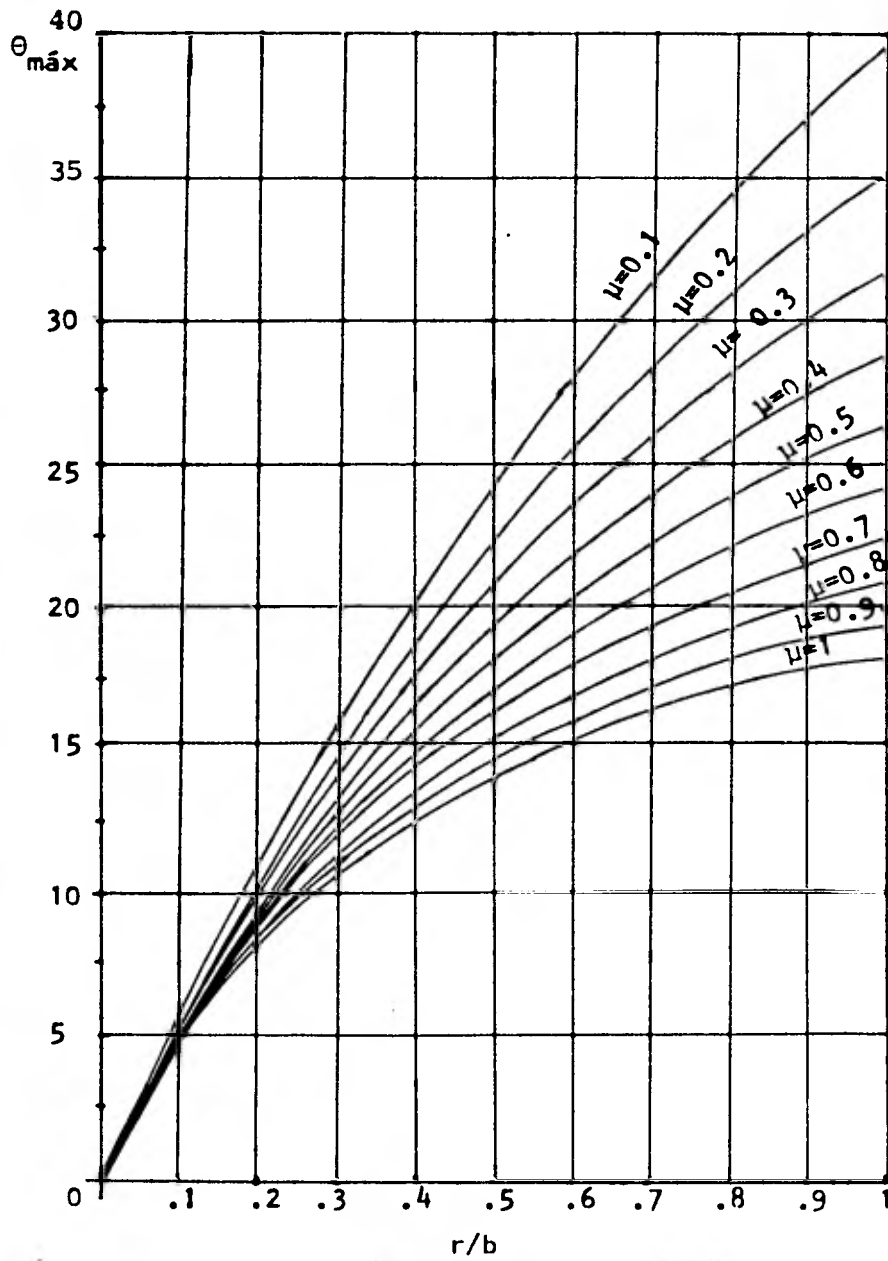
$$-mg\mu(b \cos\theta - r \operatorname{sen}\theta) + mg(\mu b \cos\theta + r \operatorname{sen}\theta - r \cos\theta + b \operatorname{sen}\theta) = 0$$

$$2\mu r \operatorname{sen}\theta + b \operatorname{sen}\theta = r \cos\theta$$

$$\operatorname{tg} \theta (2\mu r + b) = r$$

$$\theta_{\text{máx}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{r}{2\mu r + b} \quad (4.54')$$

Como se observa en la gráfica 4.1 este ángulo es menor que el ángulo para el cual el punto G coincide con el punto H en la vertical.



Gráfica 4.1. Valores de $\theta_{\text{máx}}$ para el umbral de inestabilidad según la ecuación (4.54').

B Impacto del envase sobre la banda transversal

Este impacto se produce cuando el envase regresa a la posición de vertical de un movimiento libre en sentido horario o anti-horario.

4.5 Impacto sobre la banda alrededor del punto H

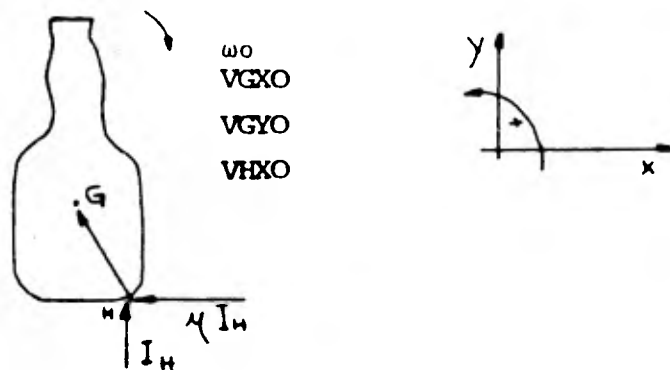


fig 4.8

Cuando el envase regresa a la posición vertical, hace contacto con la banda transversal en un punto H; como consecuencia de ello se genera un impulso I_H en dirección vertical y otro en dirección horizontal de magnitud μI_H , iniciándose un giro alrededor de este punto en sentido horario.

Para las componentes de las velocidades lineales y angular tenemos:

$$-\mu I_H = m(V_{GX1} - V_{GX0}) \quad (4.55)$$

$$I_H = m(V_{GY1} - V_{GY0}) \quad (4.56)$$

$$-\mu I_H b + I_H r = m(\omega_1 - \omega_0) \quad (4.57)$$

Sustituyendo 4.56 en 4.57 y despejando ω_1 se tiene:

$$\omega_1 = \omega_0 + \frac{1}{r} \frac{r^2}{g} (V_{GY1} - V_{GY0}) (r - \mu b) \quad (4.58)$$

Nuevamente:

$$V_{HY1} = V_{GY1} + \omega_1 r = 0 \quad (4.59)$$

$$V_{HX1} = V_{GX1} + \omega_1 b$$

Sustituyendo 4.58 en 4.59 tenemos:

$$V_{GY1} = \frac{-r(\mu b - r)V_{GY0} - r r_g^2 \omega_0}{r_g^2 - r(\mu b - r)} \quad (4.60)$$

Sustituyendo 4.60 en 4.56 encontramos I_H y este en 4.55 ; despejando V_{GX1} :

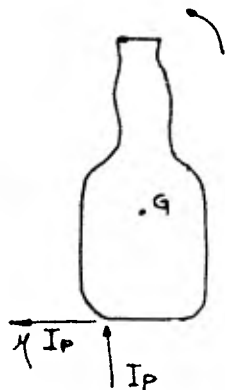
$$V_{GX1} = V_{GX0} + \frac{\mu r_g^2 (V_{GY0} + r\omega_0)}{r_g^2 - r(\mu b - r)} \quad (4.61)$$

Sustituyendo 4.61 en 4.58 tenemos:

$$\omega_1 = \omega_0 + \frac{(\mu b - r)(V_{GY0} + r\omega_0)}{r_g^2 - r(\mu b - r)} \quad (4.62)$$

Las tres últimas ecuaciones nos dan las condiciones iniciales después de impacto sobre la banda alrededor del punto H.

4.6 Impacto sobre la banda alrededor del punto P



ω_0
 V_{GX0}
 V_{GY0}
 V_{PX0}



fig 4.9

De la fig 4.9 tenemos:

$$-\mu I_P = m(V_{GX1} - V_{GX0}) \quad (4.63)$$

$$I_P = m(V_{GY1} - V_{GY0}) \quad (4.64)$$

$$-\mu b I_P - r I_P = m(\omega_1 - \omega_0) \quad (4.65)$$

sustituyendo 4.64 en 4.63 y despejando ω_1 se tiene:

$$\omega_1 = \omega_0 + \frac{(\mu b + r)(V_{GY0} - V_{GY1})}{r_g^2} \quad (4.66)$$

Nuevamente sabemos que:

$$V_{PY1} = V_{GY1} - \omega_1 r = 0 \quad (4.67)$$

Introduciendo 4.66 en 4.67 y despejando V_{GY1}

$$V_{GY1} = \frac{r [r_g^2 \omega_0 + (\mu b + r) V_{GY0}]}{r_g^2 + r(\mu b + r)} \quad (4.68)$$

Sustituyendo 4.64 en 4.68 y despejando V_{GX1}

$$V_{GX1} = V_{GY0} - \frac{\mu r_g^2 (r \omega_0 - V_{GY0})}{r_g^2 + r(\mu b + r)} \quad (4.69)$$

Finalmente 4.68 en 4.67 y despejando

$$\omega_1 = \omega_0 + \frac{(\mu b + r)(V_{GY0} - r \omega_0)}{r_g^2 + r(\mu b + r)} \quad (4.70)$$

Las tres últimas ecuaciones nos dan las condiciones iniciales después de impacto del envase sobre la banda transversal alrededor del punto P.

5. SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO BRAZO EMPUJADOR-ENVASE

En el capítulo anterior se desarrollaron los modelos matemáticos que rigen la cinemática del movimiento brazo empujador-envase (considerado como movimiento plano). La naturaleza de dichas expresiones requiere del uso de una computadora para calcular e imprimir fácil y rápidamente los resultados siguientes:

- i) las condiciones antes y después de impacto entre:
 - brazo empujador-envase
 - envase-banda transversal (en el punto P ó H)
 - brazo empujador-envase-banda transversal (en el punto P ó H)
- ii) en los movimientos libres del envase (ya sea alrededor del punto P ó H)
 - aceleración, velocidad y desplazamiento del centro de masa del envase
 - aceleración y velocidad angular del envase (rotación)
 - desplazamiento angular de la base del envase
 - aceleración, velocidad y desplazamiento de un punto (P ó H) de la base del envase (traslación)

- iii) en la trayectoria del brazo empujador
 - velocidad y desplazamiento del brazo empujador
- iv) condiciones de inestabilidad del envase y posible caída del mismo si excede:
 - velocidad angular máxima permisible
 - ángulo máximo permisible

Para la velocidad y desplazamiento del brazo empujador se utiliza el análisis matemático de los diferentes mecanismos que rigen el empuje del brazo empujador actual (1), y modificado (2). Dichos mecanismos se muestran en las figuras 5.1 y 5.2.

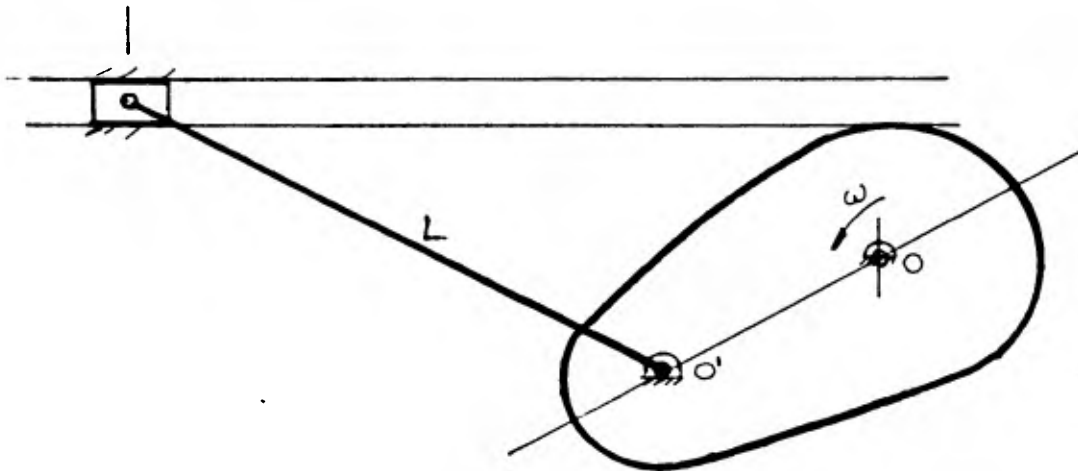


Fig. 5.1 Mecanismo usado actualmente

(1), (2) Los empujadores de uso actual tienen un mecanismo (ver fig 5.1) que hace que el brazo empujador realice el traslado de los envases rápidamente (hacia el horno templador) y que se regrese lentamente (a su posición inicial por encima de la nueva hilera de envases que se está formando) limitando así

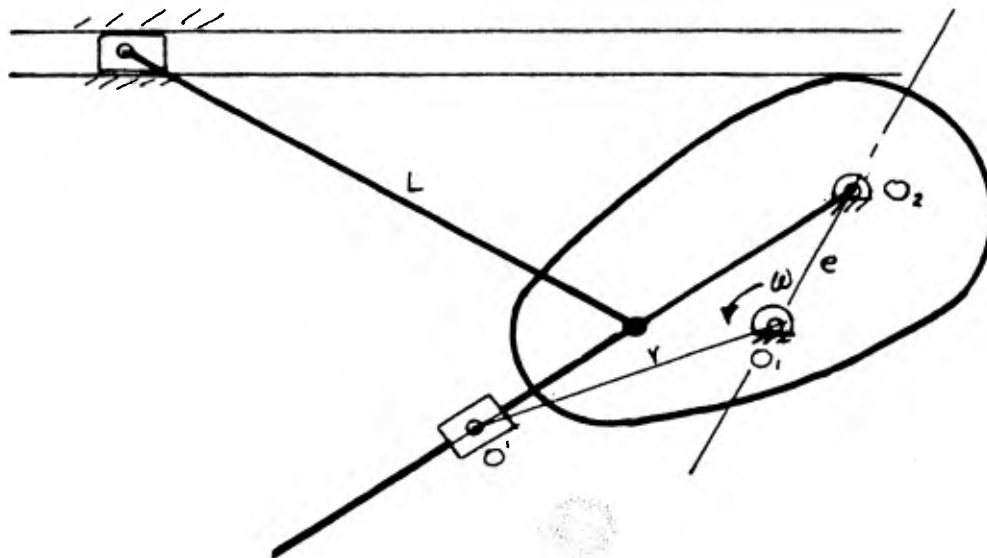


Fig 5.2. Mecanismo modificado

posibles aumentos en la producción ya que, una reducción en el tiempo de ciclo del empujador produce un empuje tan rápido que incrementa considerablemente la posibilidad de que los envases caigan. Ahora bien en el empujador modificado, se cambia el ciclo del empujador actual de empuje rápido-regreso lento a empuje lento-regreso rápido, teniendo así, para tiempos iguales de ciclo una menor posibilidad de que los envases caigan. Este cambio se realizó mediante la introducción de un mecanismo de retorno rápido (ver fig 5.2) entre la flecha de salida del reductor de velocidades y la leva que controla el movimiento ascendente del brazo empujador. (ver "Empujador de retorno rápido" informe interno del Instituto de Ingeniería. M Aguirre, R Chicurel, M Navarrete).

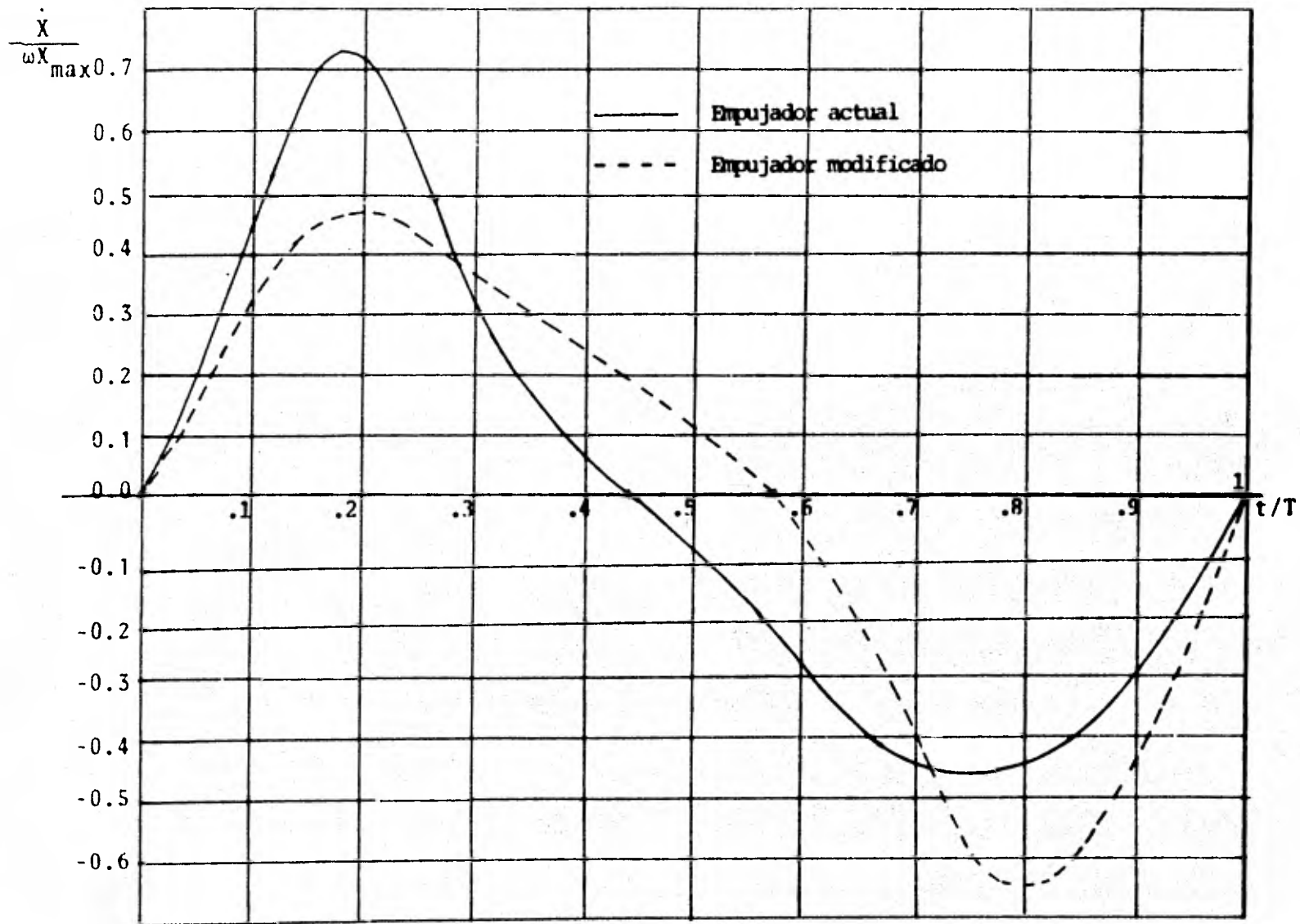


Fig 5.3. Gráfica de velocidad (en función del tiempo en forma normalizada) que presentan los diferentes empujadores. Notese el desfase que existe entre ambos en el cambio empuje-des-
censo.

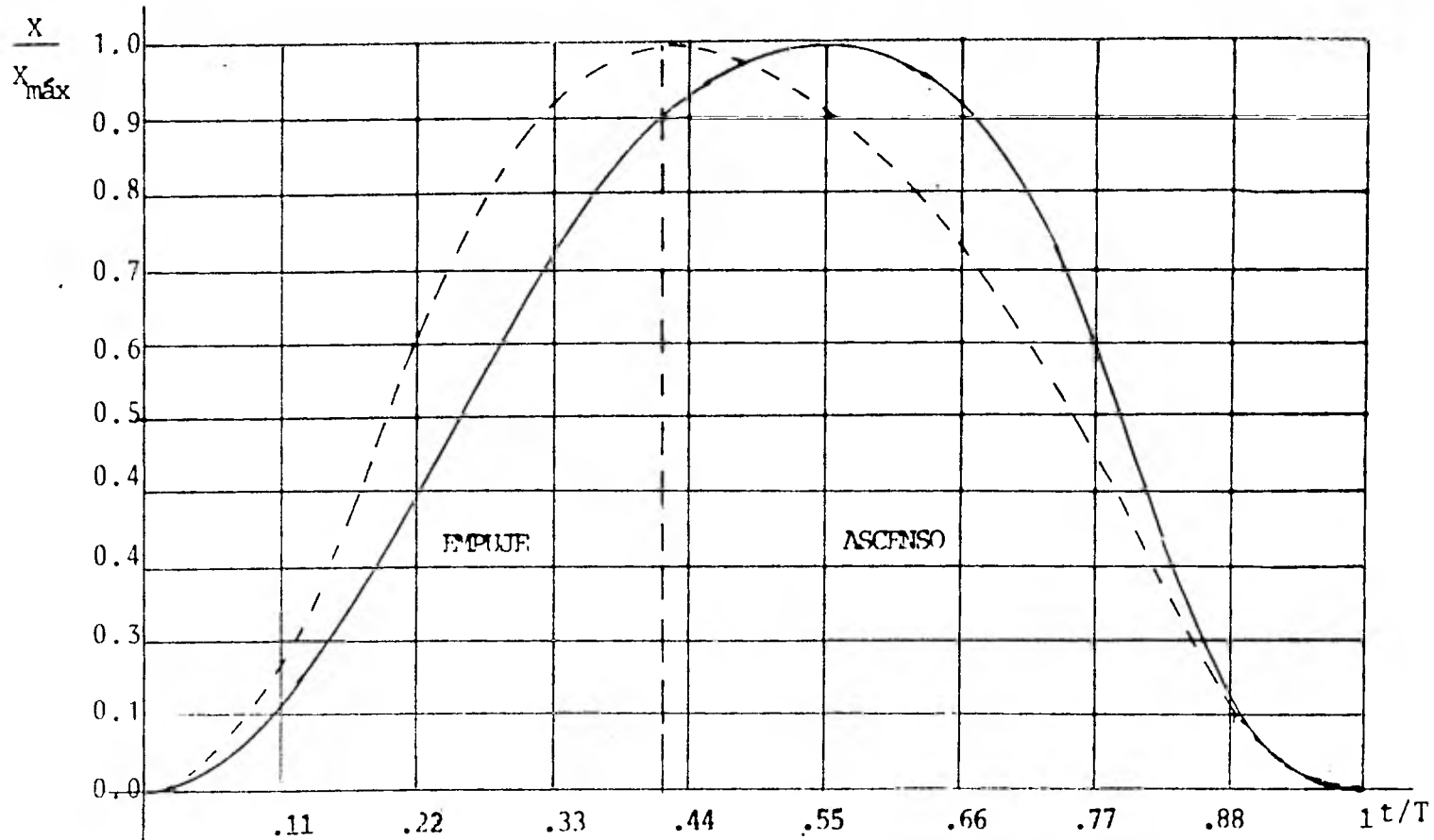


Fig 5.4. Gráfica de desplazamiento (en función del tiempo, en forma normalizada) que presentan los diferentes empujadores. Notese el defasamiento que existe entre ambos en el cambio empuje-descenso.

----- Empujador actual

————— Empujador modificado

La diferencia esencial entre ambos se encuentra en el ciclo; el primero tiene empuje rápido con regreso lento y el segundo hace exactamente lo contrario reduciendo así la posibilidad de que el envase vuelque. En las figuras 5.3 y 5.4 se grafican la velocidad y el desplazamiento para ambos empujadores (notese el defasamiento entre ellos).

5.1 Justificación al Modelo Lineal

Es necesario recordar que los modelos del capítulo anterior sólo son válidos para ángulos pequeños. Aquí vamos a comparar la simulación de la ecuación 4.9 con la ecuación simplificada 4.10.

En la tabla 5.1 y 5.2 se comparan para un envase de Coca Cola 26 (oz), con las mismas condiciones de entrada, la solución lineal y no lineal. Se observa que para un ángulo máximo de 6.69° tenemos un error de 2.53% en A_{GX} .

En las tablas 5.3 y 5.4 para un envase de Gerber tenemos un ángulo máximo de 12.11° y un error de 15% .

En las tablas 5.5 y 5.6, para el mismo envase con un ángulo máximo de 29° , se ha rebasado el ángulo máximo permisible con la consecuente caída del envase, no obstante la ecuación 4.10 no lo detecta y regresa al envase a su posición inicial.

Como se observa, estos errores crecen para tiempos mayores de 0.09 seg a partir del tiempo inicial del movimiento. Aunque no es muy correcto el modelo simplificado para ángulos mayores de 12° , sí nos da una idea de las aceleraciones y velocidades del envase, además considerando que los resultados del modelo completo, siempre son mayores que el modelo simplificado, nos encontramos del lado seguro para las cotas del modelo.

TABLA 5.1. Resultados númericos que da la ecuación simplificada (4.10)
 con datos del envase Coca Cola 26 oz.

ENVASE COCA COLA 26 OZ
 RADIO DE GIRO = 9.96
 RADIO DE LA BASE = 3.70
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 10.400
 COEFICIENTE DE RESTITUCION = .331
 COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTATICO = 0.70
 VELOCIDAD DEL EMPUJADOR = 60.000
 COEFICIENTE DE FRICCIÓN DINAMICO = .40000

T=0.128975947437, F=9.4, IMPAC=1.0, GAM=70.416006229,
 LU=3.68268302451, UPD=83.542683024, VGY=13.6259271906, VGX=45.2427795699,

TIEMPO	T2P	OMEGA	THETA	X2P	VP	X	VRX
0.00000	-51.46437	3.68268	0.00000	-744.86369	83.54268	0.00000	79.86000
0.01290	-54.37263	2.99969	2.47139	-806.67848	73.52710	1.01378	70.62977
0.02580	-56.78735	2.29224	4.42494	-858.00326	62.77923	1.89351	60.88336
0.03869	-58.60019	1.53743	5.83772	-896.53509	51.44764	2.63069	50.60383
0.05159	-59.72502	0.77359	6.69252	-920.44343	39.71573	3.21893	39.99038
0.06449	-60.10636	0.00000	6.97866	-928.54871	27.77449	3.65428	29.14629
0.07739	-59.72502	-0.77359	6.69252	-920.44343	15.83326	3.93538	18.21260
0.09028	-58.60019	-1.53743	5.83772	-896.53509	4.09935	4.06359	7.31973
0.10318	-57.78735	-2.28224	4.42494	-858.00326	-7.23025	4.04287	-3.43013
0.11608	-54.37263	-2.99969	2.47139	-806.67848	-17.97811	3.87959	-13.97691
0.12898	-51.46437	-3.68268	0.00000	-744.86369	-27.99369	3.58227	-24.31101
TIEMPO	AGX	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	NOR
0.00000	-259.81416	45.24278	0.00000	-331.46459	13.62593	0.00000	-649.53541
0.01290	-274.49627	42.43269	0.56584	-294.75934	11.40749	0.16157	-686.24066
0.02580	-286.68680	39.40027	1.09484	-264.28299	9.58345	0.30020	-716.71701
0.03869	-295.83879	36.15201	1.58415	-241.40303	7.99889	0.42072	-739.59697
0.05159	-301.51744	32.71863	2.03051	-227.20639	6.46153	0.52273	-753.79361
0.06449	-303.44259	29.14629	2.43065	-222.39352	4.75437	0.60002	-758.60648
0.07739	-301.51744	25.48436	2.78120	-227.20639	2.65119	0.64027	-753.79361
0.09028	-295.83879	21.77155	3.07841	-241.40303	-0.06650	0.62534	-739.59697
0.10318	-286.68680	18.02296	3.31672	-264.28299	-3.59231	0.53202	-716.71701
0.11608	-274.49627	14.22017	3.48860	-294.75934	-8.07912	0.33328	-686.24066
0.12898	-259.81416	10.30621	3.58227	-331.46459	-13.62593	0.00000	-649.53541

STARTED TO RUN CODE AT 11:39.7397, 2 FEBRUARY 1981

96

PAGE 2

UID

STARTED PRINTING AT 11:39.9189, 2 FEBRUARY 1981

TIME	DVFX	VPX	DVGX	VGX	DVGY	OMEGA	VGY
E+00	E+00	E+00	E+00	E+00	E+00	E+00	E+00
0.00000	-744.94	83.54	-259.9	45.24	-331.5	3.6820	13.62
0.00500	-757.29	79.82	-247.8	43.94	-304.0	3.4247	11.96
0.01000	-786.50	76.03	-240.7	42.70	-281.6	3.1629	10.44
0.01500	-812.66	72.10	-252.6	41.50	-261.2	2.8969	9.03
0.02000	-835.86	68.03	-263.3	40.23	-243.0	2.6270	7.73
0.02500	-856.21	63.85	-272.8	38.92	-227.4	2.3534	6.51
0.03000	-873.83	59.57	-281.0	37.55	-214.7	2.0761	5.38
0.03500	-888.83	55.20	-287.7	36.15	-204.9	1.7953	4.30
0.04000	-901.25	50.76	-293.1	34.71	-198.5	1.5111	3.28
0.04500	-911.09	46.25	-297.2	33.24	-195.4	1.2236	2.29
0.05000	-918.27	41.70	-300.1	31.76	-195.9	0.9330	1.31
0.05500	-922.63	37.11	-301.8	30.26	-200.0	0.6394	0.33
0.06000	-923.93	32.49	-302.6	28.75	-207.7	0.3432	-0.67
0.06500	-921.87	27.87	-302.4	27.24	-219.2	0.0447	-1.71
0.07000	-916.11	23.26	-301.6	25.72	-234.1	-0.2556	-2.80
0.07500	-906.27	18.68	-300.2	24.22	-252.3	-0.5571	-3.97
0.08000	-892.00	14.15	-298.3	22.72	-273.6	-0.8591	-5.24
0.08500	-872.98	9.69	-296.1	21.22	-297.4	-1.1607	-6.60
0.09000	-849.00	5.33	-293.6	19.74	-323.2	-1.4610	-8.09
0.09500	-819.95	1.08	-290.9	18.27	-350.5	-1.7591	-9.71
0.10000	-785.86	-3.02	-288.1	16.82	-378.7	-2.0541	-11.46
0.10500	-746.90	-6.95	-285.0	15.38	-407.0	-2.3451	-13.35
0.11000	-703.35	-10.68	-281.8	13.95	-434.8	-2.6315	-15.39
0.11500	-655.61	-14.20	-278.4	12.55	-461.5	-2.9125	-17.56

TABLA 5.2. Resultados numéricos que da la ecuación (4.9) con los datos del envase Coca Cola 26 oz.

TIME	DVPX	VPX	DVGX	VGX	DVGY	OMEGA	VGY
0.12000	-604.13	-17.48	-274.9	11.15	-486.7	-3.1877	-19.87
0.12500	-549.38	-20.50	-271.2	9.78	-509.9	-3.4570	-22.30
0.13000	-491.82	-23.24	-267.5	8.42	-530.7	-3.7203	-24.85

BEGAN FLOTTING AT 11:42.2883, 2 FEBRUARY 1981

VGX=*, VPX=@, OMEGA=^, VGY=+

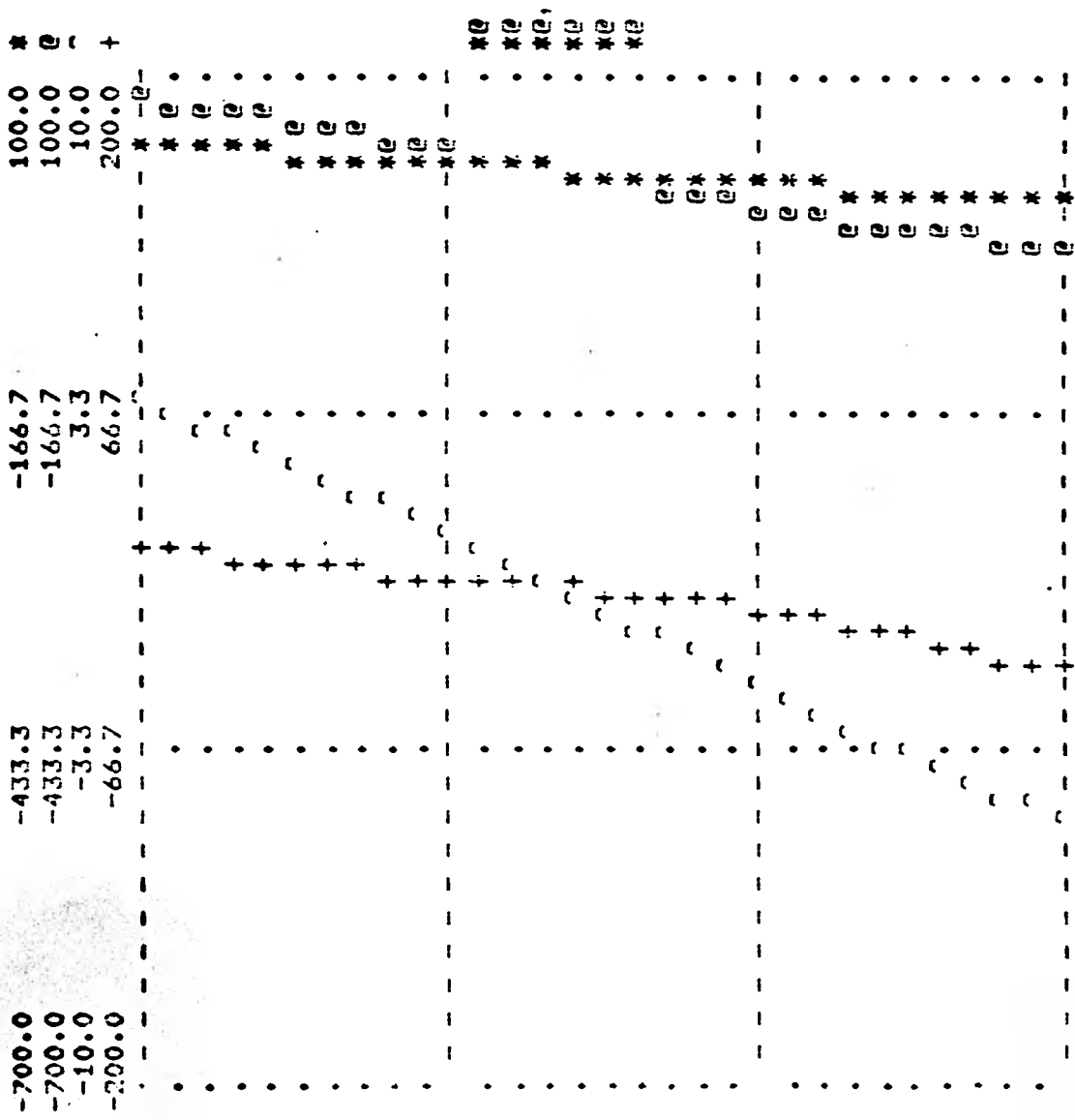


Tabla 5.2 continuación

TABLA 5.3. Resultados númericos que da la ecuación simplificada (4.10)
con datos del envase Gerber.

0RUNNING 1360

ENVASE GERBER
RADIO DE GIRO = 2.87
RADIO DE LA BASE = 2.05
ALTURA AL CENTRO DE MASA = 4.000
COEFICIENTE DE RESTITUCION = .186
COEFICIENTE DE FRICCION ESTADICO = 0.19
VELOCIDAD DEL EMPUJADOR = 50.000
COEFICIENTE DE FRICCION DINAMICO = .11000

I=0.098676007987, F=3.0, IMPAC=1.0, GAM=62.864860377,
WD 8.1489811482, VFO=67.448981140, VGYU=16.7054113541, VGX0=34.8530565553,

TIEMPO	T2P	OMEGA	THETA	X2P	UP	X	VOX
0.00000	-133.51577	8.14898	0.00000	-446.51460	67.44898	0.00000	59.30000
0.00987	-149.03666	6.75394	4.22007	-556.86580	62.49150	0.64200	55.93289
0.01974	-162.79944	5.21349	7.60950	-654.71713	56.50019	1.22987	51.98018
0.02960	-173.67967	3.55055	10.09204	-732.07390	49.63803	1.75417	47.45473
0.03947	-180.52567	1.79870	11.60745	-781.81439	42.14365	2.20740	42.44478
0.04934	-183.09098	0.00000	12.11705	-798.98690	34.31625	2.58478	37.07666
0.05921	-180.67567	-1.79870	11.60745	-781.81439	26.40885	2.88464	31.57691
0.06907	-173.67967	-3.55055	10.09204	-732.07390	18.99446	3.10864	26.02365
0.07894	-162.79944	-5.21349	7.60950	-654.71713	12.13230	3.26159	20.50250
0.08881	-149.03666	-6.75394	4.22007	-556.86580	6.14099	3.35095	14.98148
0.09868	-133.51577	-8.14898	0.00000	-446.51460	1.18351	3.38619	9.33249

TIEMPO	OGX	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	NOR
0.00000	-48.58360	34.85306	0.00000	-539.33090	16.70541	0.00000	-441.66910
0.00987	-54.23133	35.67106	0.34833	-487.98792	14.26396	0.15302	-493.01208
0.01974	-59.23932	36.33971	0.70525	-442.46075	12.29553	0.28760	-538.53925
0.02960	-63.19840	36.80307	1.06096	-406.46905	10.64762	0.40878	-574.53095
0.03947	-65.74410	37.04869	1.43642	-383.32635	9.06440	0.51612	-597.67365
0.04934	-66.62298	37.09666	1.80397	-375.33651	7.21438	0.60225	-605.66349
0.05921	-65.74410	36.97300	2.16603	-383.32635	4.73583	0.65229	-597.67365
0.06907	-63.19840	36.67532	2.51907	-406.46905	1.29289	0.64442	-574.53095
0.07894	-59.23932	36.14296	2.85094	-442.46075	-3.36854	0.55187	-538.53925
0.08881	-54.23133	35.24330	3.14734	-487.98792	-9.37607	0.34594	-493.01208
0.09868	-48.58360	33.77943	3.38619	-539.33090	-16.70541	0.00000	-441.66910

DET=2:1:1.3 PI=0.4 IO=0.4

STARTED PRINTING AT 13:19.8986, 31 JANUARY 1981

TIME	DVPX	VFX	DVGX	VGX	DVGY	OMEGA	VGY
E+00	E+00	E+00	E+00	E+00	E+00	E+00	E+00
0.00000	-448.2	67.44	-49.9	34.85	-538.6	8.140	16.70
0.00500	-476.4	65.20	-10.2	34.60	-480.9	7.472	14.01
0.01000	-538.8	62.82	17.1	34.55	-436.5	6.775	11.60
0.01500	-592.5	60.12	2.3	34.63	-395.3	6.051	9.42
0.02000	-638.1	57.16	-10.6	34.65	-359.5	5.303	7.44
0.02500	-676.4	53.97	-21.0	34.59	-331.1	4.530	5.65
0.03000	-709.8	50.59	-28.6	34.49	-312.0	3.732	3.99
0.03500	-736.1	47.04	-34.1	34.35	-304.0	2.909	2.43
0.04000	-758.4	43.36	-38.6	34.17	-308.5	2.060	0.91
0.04500	-774.3	39.57	-44.2	33.98	-326.2	1.186	-0.63
0.05000	-781.4	35.70	-52.9	33.76	-357.2	0.289	-2.26
0.05500	-776.0	31.79	-66.6	33.50	-400.0	-0.623	-4.05
0.06000	-754.5	27.91	-85.8	33.16	-451.4	-1.541	-6.05
0.06500	-714.1	24.14	-109.7	32.73	-507.0	-2.454	-8.31
0.07000	-653.8	20.57	-135.8	32.19	-561.7	-3.350	-10.84
0.07500	-574.7	17.30	-161.0	31.51	-611.2	-4.220	-13.65
0.08000	-479.4	14.43	-182.8	30.70	-652.5	-5.058	-16.71
0.08500	-370.4	12.03	-199.6	29.79	-683.9	-5.862	-19.97
0.09000	-249.1	10.18	-210.9	28.79	-704.9	-6.637	-23.39
0.09500	-113.8	8.93	-215.9	27.73	-715.4	-7.386	-26.91
0.10000	44.3	8.36	-212.7	26.66	-715.3	-8.120	-30.49
0.10500	265.7	8.59	-192.9	25.59	-703.9	-8.848	-34.07
0.11000	1085.4	9.91	-110.3	24.63	-679.2	-9.586	-37.59
0.11500	-112.1	15.34	542.9	24.04	-637.5	-10.349	-40.98

TABLA 5.4. Resultados numéricos que da la ecuación (4.9) con los datos del envase Gerber.

BEGAN PLOTTING AT 13:21.2691, 31 JANUARY 1981

VGX=#, VPX=@, OMEGA=^, VGY=+

-300.0	-166.7	-33.3	100.0	*
-300.0	-166.7	-33.3	100.0	@
-30.0	-16.7	-3.3	10.0	^
-200.0	-66.7	66.7	200.0	+

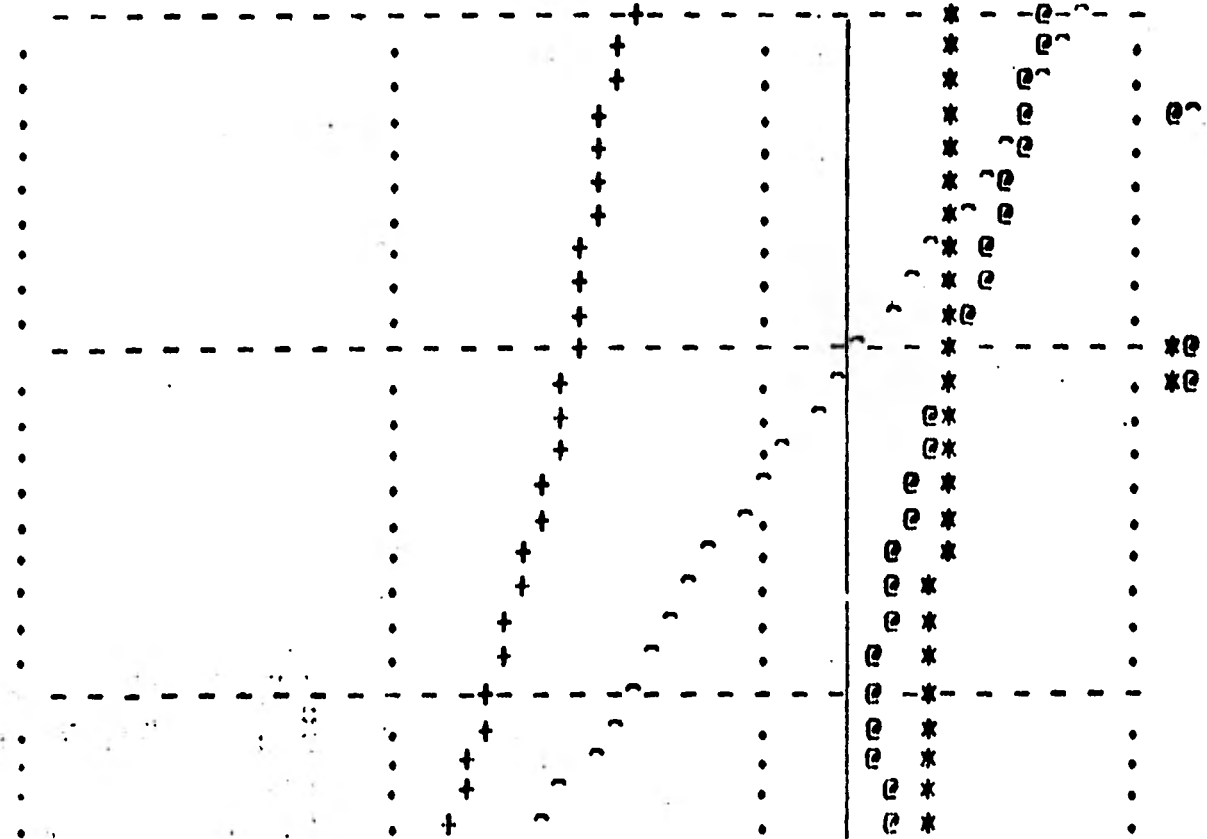


Tabla 5.4. Continuación

TABLA 5.5. Resultados numéricos que da la ecuación simplificada (4.10)
con los datos del envase Gerber.

ENVASE GERBER
RADIO DE GIRO = 2.87
RADIO DE LA BASE = 2.05
ALTURA AL CENTRO DE MASA = 4.000
COEFICIENTE DE RESTITUCION = .186
COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO = 0.19
VELOCIDAD DEL EMPUJADOR = 70.000
COEFICIENTE DE FRICCIÓN DINÁMICO = .11000

T=0.158325358021, F=3.0, IMPAC=1.0, GAM=62.864860377,
WD=11.4085736077, VPO=94.428573608, VGYU=23.3875758956, UGXU=48.7942791776,

TIEMPO	T2P	OMEGA	THETA	X2P	UP	X	UOX
0.00000	-85.92357	11.40857	0.00000	-108.14119	94.42857	0.00000	83.02000
0.01583	-110.56203	9.85659	9.67474	-283.31693	91.35422	1.47437	81.94401
0.03167	-136.49282	7.90052	17.75992	-467.68095	85.40682	2.87752	79.03119
0.04750	-160.12452	5.54649	23.88744	-635.69879	76.63004	4.16377	73.94132
0.06333	-176.95829	2.86613	27.72337	-755.38438	65.53314	5.29168	66.89109
0.07916	-183.09098	0.00000	29.03073	-798.98690	53.11535	6.23185	58.73133
0.09500	-176.95829	-2.86613	27.72337	-755.38438	40.69757	6.97358	50.62229
0.11083	-160.12452	-5.54649	23.88744	-635.69879	29.60066	7.52757	43.41275
0.12666	-136.49282	-7.90052	17.75992	-467.68095	20.82389	7.92322	37.11771
0.14249	-110.56203	-9.85659	9.67474	-283.31693	14.87649	8.20198	30.84943
0.15833	-85.92357	-11.40857	0.00000	-108.14119	11.80213	8.40951	23.21071

TIEMPO	AGX	VGX	XGX	AGY	UGY	XGY	NOR
0.00000	-31.26579	48.79428	0.00000	-696.76552	23.38758	0.00000	-284.23448
0.01583	-40.23121	52.37424	0.80233	-615.26170	21.29453	0.35441	-365.73830
0.03167	-49.66689	55.32964	1.65993	-529.48286	20.81902	0.76302	-451.51714
0.04750	-58.26597	57.30186	2.55703	-451.30939	21.89487	1.07903	-529.69061
0.06333	-64.39143	58.29268	3.47423	-395.62341	23.78176	1.49215	-585.37659
0.07916	-66.62298	58.73133	4.40028	-375.33651	25.08378	1.91037	-605.66349
0.09500	-64.39143	59.22070	5.33476	-395.62341	24.04620	2.24939	-585.37659
0.11083	-58.26597	60.05222	6.27306	-451.30939	19.07017	2.37619	-529.69061
0.12666	-49.66689	60.81926	7.17673	-529.48286	9.24972	2.13121	-451.51714
0.14249	-40.23121	60.41921	7.94556	-615.26170	-5.29115	1.36791	-365.73830
0.15833	-31.26579	57.43643	8.40951	-696.76552	-23.38758	0.00000	-284.23448

DET=0.119,4 PI=0,8 IO=0,3

TABLA 5.6. Resultados numéricos que da la ecuación (4.9) con los datos del envase Gerber.

STARTED PRINTING AT 13:09.9711, 31 JANUARY 1981

TIME	DVPX	VPX	DVGX	VGX	DUGY	OMEGA	UGY
E+00	E+00	E+00	E+00	E+00	E+00	E+00	E+00
0.00000	-110.2	94.42	-32.1	48.79	-695.77	11.400	23.38
0.00500	-160.5	93.87	23.5	48.63	-650.92	10.969	19.90
0.01000	-229.1	93.07	35.6	48.75	-608.55	10.521	16.65
0.01500	-290.8	91.92	21.5	48.92	-562.82	10.058	13.60
0.02000	-343.8	90.47	5.4	49.03	-515.01	9.581	10.79
0.02500	-387.3	88.75	-11.6	49.06	-466.60	9.096	8.21
0.03000	-421.1	86.81	-28.1	49.00	-419.04	8.605	5.88
0.03500	-446.1	84.71	-42.9	48.86	-373.63	8.113	3.79
0.04000	-464.0	82.48	-55.0	48.65	-331.30	7.622	1.92
0.04500	-476.7	80.16	-63.9	48.37	-292.71	7.132	0.26
0.05000	-486.5	77.77	-69.3	48.05	-258.21	6.642	-1.20
0.05500	-495.7	75.34	-71.2	47.70	-228.02	6.150	-2.49
0.06000	-506.5	72.86	-69.7	47.35	-202.41	5.649	-3.63
0.06500	-520.9	70.33	-64.7	47.00	-181.81	5.134	-4.64
0.07000	-540.7	67.72	-56.5	46.68	-167.12	4.594	-5.55
0.07500	-567.4	65.02	-45.2	46.39	-159.89	4.020	-6.39
0.08000	-601.8	62.18	-31.7	46.17	-162.59	3.399	-7.19
0.08500	-642.9	59.18	-18.0	46.01	-178.67	2.721	-8.00
0.09000	-687.6	55.96	-7.9	45.92	-211.98	1.975	-8.90
0.09500	-728.4	52.52	-7.4	45.88	-265.12	1.162	-9.96
0.10000	-754.5	48.88	-22.4	45.84	-336.79	0.291	-11.28
0.10500	-754.5	45.11	-54.9	45.73	-420.04	-0.617	-12.96
0.11000	-721.0	41.34	-99.5	45.46	-503.83	-1.537	-15.07
0.11500	-654.6	37.73	-146.1	44.96	-577.80	-2.445	-17.88

TIME	DVPX	VPX	DVGX	VGX	DVGY	OMEGA	VGY
0.12000	-561.4	34.46	-185.5	44.23	-636.00	-3.323	-20.47
0.12500	-449.0	31.65	-214.4	43.30	-676.97	-4.166	-23.65
0.13000	-322.4	29.41	-233.1	42.23	-701.73	-4.974	-27.04
0.13500	-181.0	27.79	-243.0	41.06	-711.82	-5.754	-30.55
0.14000	-7.1	26.89	-242.7	39.85	-708.06	-6.516	-34.11
0.14500	484.7	26.85	-215.8	38.64	-689.88	-7.274	-37.65
0.15000	-11.5	29.28	120.6	37.56	-654.66	-8.043	-41.10
0.15500	253.2	29.22	-543.7	38.16	-596.62	-8.843	-44.37
0.16000	460.0	30.48	-463.6	35.44	-504.59	-9.698	-47.35
0.16500	681.7	32.78	-459.8	33.12	-357.82	-10.640	-49.87
0.17000	936.0	36.19	-446.4	30.82	-119.60	-11.702	-51.66

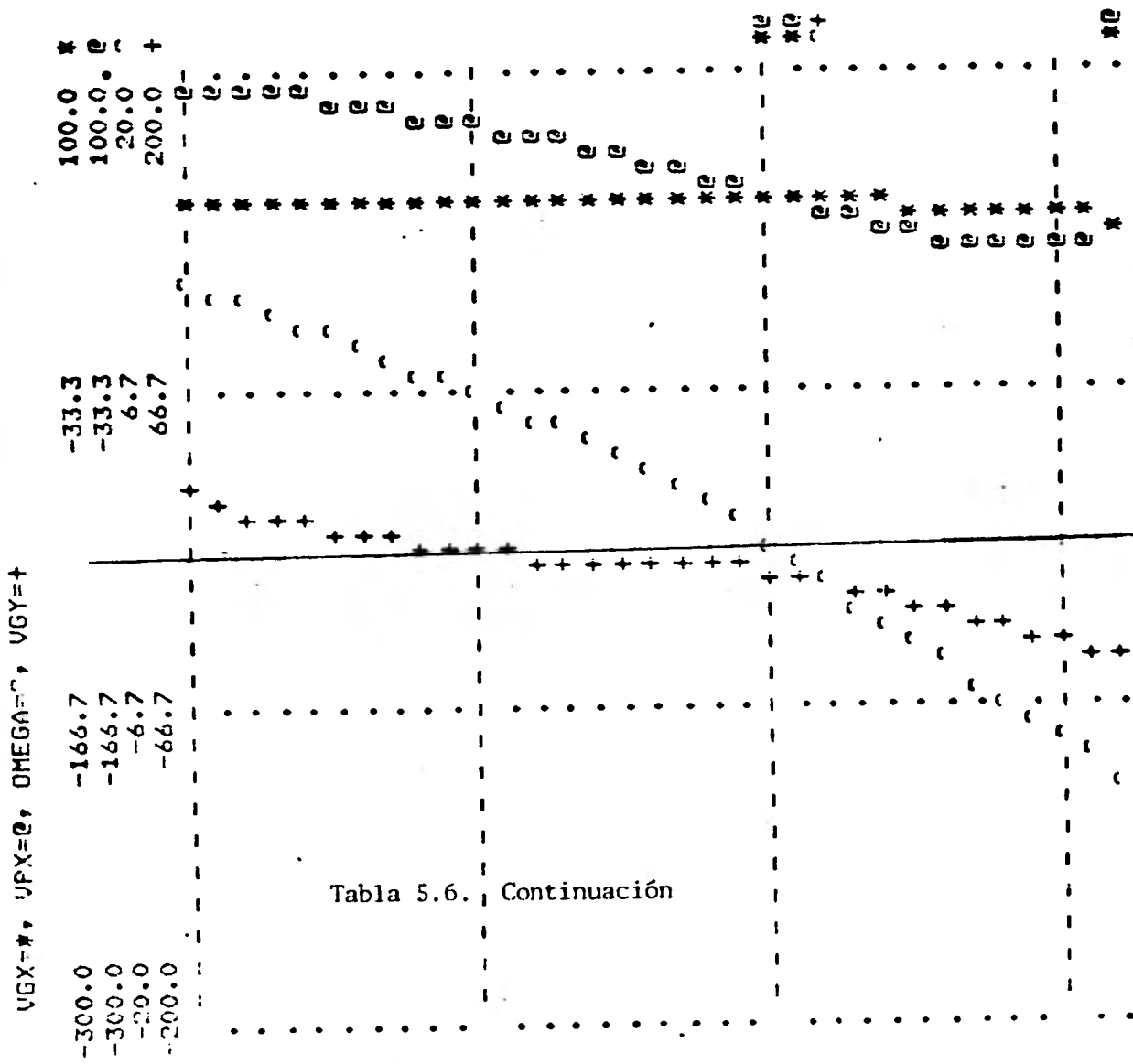


Tabla 5.6. Continuación

VGX=*, VPX=e, OMEGA=e, VGY=+

5.2 PROGRAMA DE COMPUTADORA

En la figura 5.5 se muestra el diagrama de flujo del programa de computadora ALEPH, que simula el empuje del envase. El dibujo en cada cuadro indica, ya sea el tipo de movimiento libre o clase de impacto que calcula cada subrutina, además el programa contiene dos funciones que calculan la velocidad y el desplazamiento del brazo empujador, en este caso con el movimiento del mecanismo actual y el modificado (estas dos funciones pueden sustituirse por cualquier otro tipo de movimiento).

El programa requiere de la siguiente información:

DATOS DE ENTRADA

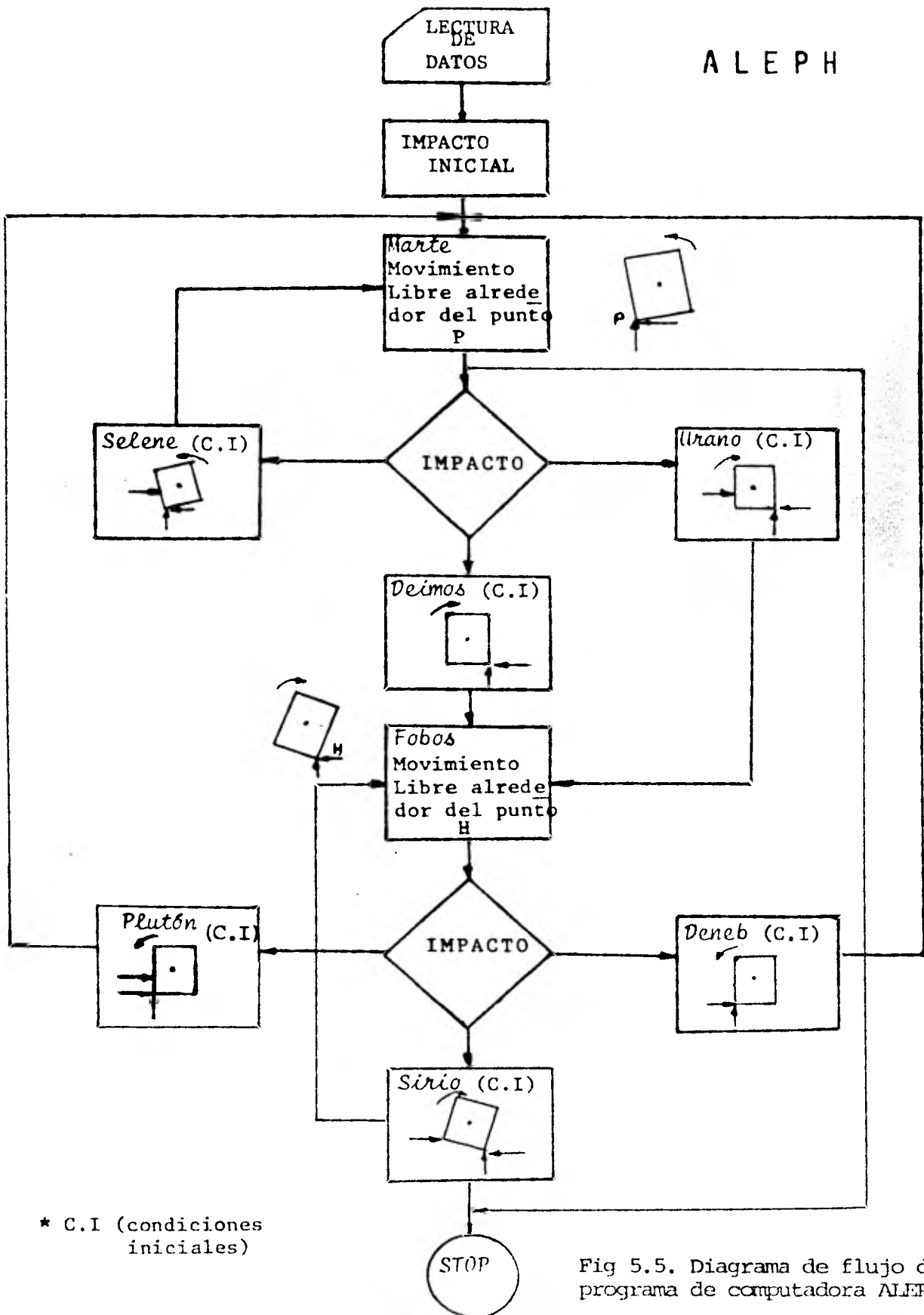
a) para el envase

- marca del envase
- radio de giro
- radio de la base
- altura al centro de masa
- coeficiente de restitución entre brazo empujador-envase
- coeficiente de fricción estático entre envase-banda transversal
- coeficiente de fricción dinámico entre envase-banda transversal.

b) para el movimiento del brazo empujador

- altura de empuje con respecto a la base del envase
- velocidad angular del reductor (entrada al mecanismo)
- relación de defasamiento
 - 0.0 para el mecanismo actual
 - 0.5 para el mecanismo modificado
- longitud de la manivela 15 cm
- longitud de la biela 32 cm
- altura entre el centro de giro de la biela y corredera 10.4 cm

ALEPH



* C.I (condiciones iniciales)

Fig 5.5. Diagrama de flujo del programa de computadora ALEPH

ancho del brazo empujador	3 cm
tiempo defasado del brazo empujador	0.3 seg

El dato que se alimenta a la computadora como tiempo defasado del brazo empujador se refiere al momento de contacto brazo empujador-envase (con respecto a la posición más retraída del brazo empujador), el cual puede ocurrir en cualquier posición de la banda transversal. Con este dato se calcula la velocidad inicial de impacto y se define el tiempo y desplazamiento cero del movimiento del envase.

ALEPH funciona de la siguiente manera:

Una vez leídos los datos, calcula el impacto inicial. Conocida la velocidad del brazo empujador (calculada previamente por la función *Ectro*; con el dato 'tiempo defasado del brazo empujador') luego se llama a la subrutina *Marte* que calcula el movimiento libre alrededor del punto P, el incremento de tiempo lo da la función *Poli* calculando el tiempo para el cual θ regresa a cero y lo divide en diez, con este incremento comienza a iterar hasta que se cumple cualquiera de las siguientes condiciones a saber:

- el envase iguala o excede el ángulo máximo permisible; en este caso se para el programa.
- el desplazamiento del brazo empujador (se calcula para cualquier tiempo con la función *Proto*) y de algún punto del envase son iguales (cuando el envase gira en sentido antihorario). Se registra un nuevo impacto y se llama a la subrutina *Selene* que calcula las condiciones nuevas de impacto y regresa el control del movimiento a *Marte*.
- el movimiento libre queda completo antes de que el brazo empujador alcance al envase, produciéndose un impacto sobre la banda transversal, para lo cual se llama a la subrutina *Deimos* que calcula las nuevas condiciones y pasa además el control del movimiento a la subrutina *Fobos*; ésta calcula el movimiento libre alrededor del punto H (el incremento de tiempo se calcula mediante la función *Cirse*)

- d) el movimiento libre queda completo y además se registra un nuevo contacto con el brazo empujador; entonces se llama a la subrutina *Urano* que calcula las nuevas condiciones de impacto y pasa el control a la subrutina *Fobos*.

Ahora el control del movimiento lo tiene *Fobos* (movimiento libre alrededor del punto H) y nuevamente se itera hasta que se cumple:

- a) θ excede o iguala el ángulo máximo permisible (en este momento se para el programa).
- b) el brazo empujador alcanza al envase durante el movimiento horario, registrándose otro impacto; se llama a *Sirio* que calcula las nuevas condiciones y regresa el control a *Fobos*.
- c) el movimiento libre queda completo y además el brazo empujador alcanza al envase; entonces se llama a *Plutón* que calcula las nuevas condiciones y regresa el control del movimiento a *Marte*.
- d) el movimiento libre queda completo antes de que el brazo empujador alcance al envase produciéndose un impacto sobre la banda transversal; se llama a la subrutina *Veneb* que calcula las nuevas condiciones y pasa el control del movimiento a *Marte*.

Todas las subrutinas tienen una salida si el desplazamiento del envase excede a 25 cm.

El objeto de una simulación es dar una idea de los efectos que pueden tener los diferentes parámetros que rigen un fenómeno.

Ahora bien el programa *Aleph* que simula el empuje de un envase (como movimiento plano), está codificado en lenguaje Fortran y el listado del mismo se encuentra en la figura 5.6. El tiempo de proceso que utiliza *ALEPH* varía entre 5 y 20 segundos dependiendo del tipo de movimiento del brazo empujador. Los datos que se usan en las simulaciones son tomados de los experimentos realizados en la primera parte de este trabajo.

PROGRAMA QUE CALCULA LOS PARAMETROS DE MOVIMIENTO DE UN ENVASE

ALEPH

```

PROGRAMA QUE CALCULA LOS PARAMETROS DE MOVIMIENTO DE UN ENVASE
500 C
600 REAL KI,LK,L,NU,INC,KKI,KI,NAE,NOR,NSI,KSIP,DET
700 DIMENSION TIME(40),ALFA(40),YX(40),XY(40),WF(40),W(40),THETA(40)
800 DIMENSION X2P(40),XF(40),X(40),THE(40),AGX(40),AGY(40),VGX(40)
900 DIMENSION XGX(40),VGY(40),XGY(40),H2P(40),HF(40),H(40),VQX(40),NOR
910 *(40),NAE(40),XRR(40),THEM(40),DRR(40),PO(40)
1000 DIMENSION TEMP(40)
1100 C DATOS DE ENTRADA
1200 READ(5,122)ENS,ASE,ENVASE
1250 122 FORMAT(A6,A6,A6)
1300 READ(5,/)RG,R,B,E,US,UD,F,LK
1400 READ(5,/)WW,HH,A,L,BB,TD
1500 C
1600 C ESCRITURA DE DATOS
1700 C
1800 WRITE(6,1)ENS,ASE,ENVASE
1850 1 FORMAT(50X,6HENVASE,A6,A6,A6,/)
1900 WRITE(6,2)RG
2000 2 FORMAT(50X,16HRAIO DE GIRO = ,F6.3)
2100 WRITE(6,3)R
2200 3 FORMAT(47X,19HRAIO DE LA BASE = ,F4.2)
2400 WRITE(6,4)B
2500 4 FORMAT(39X,27HALTURA AL CENTRO DE MASA = ,F6.3)
2600 WRITE(6,5)E
2700 5 FORMAT(37X,29HCOEFICIENTE DE RESTITUCION = ,F5.3)
2800 WRITE(6,6)US
2900 6 FORMAT(31X,35HCOEFICIENTE DE FRICCION ESTATICO = ,F6.3)
3000 WRITE(6,7)UD
3100 7 FORMAT(31X,35HCOEFICIENTE DE FRICCION DINAMICA = ,F6.3)
3200 WRITE(6,8)
3300 8 FORMAT(/,36X,30HCONSTANTES PARA LA TRAYECTORIA)
3400 WRITE(6,9)
3500 9 FORMAT(36X,19HDEL BRAZO EMPUJADOR,/)
3600 WRITE(6,10)WW
3700 10 FORMAT(33X,33HVELOCIDAD ANGULAR DEL REDUCTOR = ,F6.2)
3800 WRITE(6,11)BB
3900 11 FORMAT(35X,27HRELACION DE DEFASAMIENTO = ,F5.3)
4000 WRITE(6,12)A
4100 12 FORMAT(40X,26HMAGNITUD DE LA MANIVELA = ,F5.3)
4200 WRITE(6,13)L
4300 13 FORMAT(43X,23HMAGNITUD DE LA BIELA = ,F6.3)
4400 WRITE(6,14)HH
4500 14 FORMAT(21X,45HALTURA ENTRE EL CENTRO DE GIRO Y CORREDERA = ,F5.2)
4600 WRITE(6,15)LK
4700 15 FORMAT(38X,28HANCHO DEL BRAZO EMPUJADOR = ,F5.2)
4800 WRITE(6,16)TD
4900 16 FORMAT(37X,29HTIEMPO DEFASADO DEL B. EMP = ,F5.3)
5000 C
5100 C CONSTANTES AUXILIARES PARA EL MOVIMIENTO LIBRE
5200 C
5300 RG2=RG**2.
5400 R02=R**2. LB**2.
5500 R0=SQRT(R02)
5600 PI=4.*ATAN(1.)

```



```

5700      PI2=PI/2.
5800      G=981.
5900 C
6000 C      COSNTANTES PARA LA TRAYECTORIA DEL BRAZO EMPUJADOR
6100 C
6200      KI=ARCOS(HH/(L-A))
6300      DELT=ARSIN(HH/(L+A))
6400      ROS=PI2-DELT-KI
6500      FIMAX=PI-ROS
6600      ALF=FIMAX/2.
6700      GAM=ARSIN(BB*SIN(ALF))
6800      BET=PI-ALF-GAM
6900      XMAX=(L+A)*COS(DELT)-(L-A)*SIN(KI)
7000 C
7100 C      CONSTANTES PARA IMPACTO
7200 C
7300      GAMA=ATAN2(B,R)
7400      BMF=B-F
7500      SO=RG**2.+RO2
7600 C
7700 C      OMAX=PI2-GAMA
7800 C      IMPACTO INICIAL
7900 C
8000      CA=RG2+R**2.+US*R*BMF
8100      CB=CA+F**2.
8200 C
8300 C      CONDICIONES INICIALES
8400      TIME(1)=0.
8500      XGYO=0.
8600      XGXD=0.
8700      XO=0.
8800      CONT=1.
8900      SUM=0.
9000      THEO=0.
9100      TIMEO=0.
9200      TIEMPO=0.
9300      YXA=ECTRO(HH,A,L,WW,BB, TIEMPO,TD,BET,ALF)
9400      VGXD=CA*(1.+E)*YXA/CB
9500      VGYD=R*F*VGXD/CA
9600      WQ=F*(1.+E)*YXA/CB
9700      VQXD=VGXD+F*WQ
9800      XPD=VGXD+B*WQ
9900      VPYD=VGYD-R*WQ
10000      WRITE(6,777)
10100 777 FORMAT(/,30X,21HCONDICIONES INICIALES./)
10200      WRITE(6,*/ )WQ,VGXD,VGYD,YXA,FIMAX
10300      WRITE(6,*/ )VQXD,XPD,OMAX
10400 C
10500 C      SE LLAMA A LA SUBROUTINA MARTE
10600      IMPACT=1
10700 150 CALL MARTE(TIME,DIFE,CONT,ALFA,YX,XZ,W,WP,THETA,X2P,YP,X,AGX,VBX
10800      *,XGX,AGY,VBG,XGY,VQX,NOR,TIMEO,WQ,THEO,VCXD,VGYD,XO,XGXD,XGYD,VQXD
10900      *,XPD,LK,BMF,B,R,GAMA,RO,UD,G,PTP,RO2,PI,RO2,HH,A,L,WW,BB, TIEMPO,TD
11000      *,BET,ALF,IMPACT,CONTACT,RIC)
11100      IF(XD.EQ.25.OR.XO.GT.25.)GO TO 190
11200      IF(RIC.EQ.1.)GO TO 50
11300      IF(CONT.GT.1.)GO TO 40
11400 50 IF(DIFE.GT.0.)GO TO 30
11500      IF(DIFE.LE.0.)GO TO 70

```

```

10500 40 CALL SEIENE (THEO, VQXO, VGYO, VQXO, WO, XPO, BMF, PI2, D, R, RO, UD, E, RG2, LK
10510 * , HH, A, L, WW, BB, TIC, HPO, TD, BET, ALF, GAMA, XO, IMPACT, CONTAC, XGXO)
10600 GO TO 150
10700 60 CALL DEIMOS (WO, VQXO, VGYO, HPO, RG2, R, UD, XO, R, HO, F, THEO, XGYO, VQXO,
10750 * XGXO)
10800 GO TO 140
10900 70 CALL URANO (VQXO, WO, VGYO, VQXO, E, UD, R, RG2, F, XO, HH, A, L, WW, BB
10910 * , TIEMPO, TD, BET, ALF, B, HPO, THEO, XGYO, HO)
11000 IF (WO) 140, 150, 150
11100 160 CALL FODOS (TIME, DIFE, SUM, ALFA, YX, XX, W, WP, THETA, H2P, HP, H
11200 * , AGX, VGX, XGX, AGY, VGY, XGY, NOR, TIMEO, WO, THEO, VQXO, VGYO, XGXO, XGYO, HPO
11250 * , HO, VQXO, GAMA, RO, G, UD, RO2, R, PI, PI2, RG2, HH, A, L, WW, BB, TIEMPO, TD, BET
11260 * , ALF, OMAX, PARA)
11263 IF (PARA, EQ, 1.) GO TO 180
11265 IF (SUM, EQ, 1.) GO TO 83
11269 IF (CONT, GT, 1.) GO TO 91
11270 83 IF (DIFE, GT, 0.) GO TO 57
11275 IF (DIFE, LT, 0.) GO TO 117
11280 59 CALL DENER (WO, VQXO, THEO, XGYO, VGYO, XPO, UD, B, R, RG, RG2, F, HO, VQXO, XO)
11285 GO TO 150
11287 119 CALL PLUTON (VQXO, WO, VGYO, VQXO, E, UD, R, BMF, RG2, F,
11288 * XO, HH, A, L, WW, BB, TIEMPO, TD, BET, ALF, B, XPO, THEO, XGYO, HO)
11289 GO TO 150
11300 91 CALL SIRIO (THEO, VQXO, WO, VGYO, VQXO, GAMA, RO, RG2, RO2, F, B, HH, A, L, WW, BB
11310 * , TIEMPO, TD, BET, ALF, HO, E, UD, HPO, OMAX, XGXO)
11315 IF (THEO, LT, 0.) THEO = -THEO
11320 IF (OMAX, LT, 0.) OMAX = -OMAX
11400 IF (THEO, LT, OMAX) GO TO 160
11500 IF (THEO, GT, OMAX, OR, THEO, EQ, OMAX) GO TO 180
11600 180 STOP
11700 END
11800 SUBROUTINE MARTE (TIME, DIFE, CONT, ALFA, YX, XX, W, WP, THETA, X2P, XP, X, AGX
11900 * , VGX, XGX, AGY, VGY, XGY, VQX, NOR, TIMEO, WO, THEO, VQXO, VGYO, XO, XGXO, XGYO
11950 * , VQXO, XPO, LK, BMF, D, R, GAMA, RO, UD, G, PI2, RG2, PI, RO2, HH, A, L, WW, BB
11960 * , TIEMPO, TD, BET, ALF, IMPACT, CONTAC, RIC)
12000 REAL NV, LK, NAE, NOR
12100 DIMENSION TIME (40), ALFA (40), YX (40), XX (40), WP (40), W (40), THETA (40), X
12200 * 2P (40), XP (40), X (40), AGX (40), VGX (40), XGX (40), AGY (40), VGY (40), XGY (40)
12300 * , NOR (40), VQX (40), CTA (40), XRE (40), THEO (40), PO (40)
12400 Y = -0.0001
12500 Z = 0.0001
12520 RIC = 0.
12550 WRITE (6, 19)
12560 19 FORMAT (/, 30X, 5HMARTE, /)
12700 IF (THEO, EQ, 0.) ESP = 0.
12800 IF (THEO, GT, 0.) ESP = LK
12900 PAC = ESP + BMF
13000 GA = PI2 - THEO
13100 GIA = SIN (GA)
13200 FP = R - PAC / GIA
13300 NV = SQRT (R**2. + FP**2.)
13350 BETA = ATAN2 (FP, R)
13500 CALF = THEO + GAMA
13600 DA = RO * SIN (CALF)
13700 DB = RO * COS (CALF)
13800 DC = DA * (DB + UD * DA)
13850 DD = RG2 + DB * (DB + UD * DA)
13900 AP = DC / DD
14000 BP = G * (DB + UD * DA) / DD

```

```

14100 CP=SQRT(BP/AP)
14200 TMAX=POLI(CP,AP,THEO,WO)
14250 WRITE(6,*)TMAX
14300 DELTA=TMAX/10.
14350 IF(DELTA,LT,0.005)DELTA=0.005
14400 MN=11
14500 THE(I)=THEO
14600 TIME(I)=0.
14700 DO 100 I=1,MN
14800 K=I
14900 TIME(I+1)=TIME(I)+DELTA
15000 CTA(I)=TIME(I)+TIMEO
15100 TIEMPO=CTA(I)
15200 ALFA(I)=THE(I)+GAMA
15300 VEZ=ECTRO(HH,A,L,WW,BB-TIEMPO*TD,BET,ALF)
15400 PRE=PROTO(HH,A,L,WW,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF)
15410 YX(I)=VEZ
15420 XX(I)=PRE
15500 DE=RO*SIN(ALFA(I))
15600 DF=RO*COS(ALFA(I))
15700 DG=DF+UD*DE
15800 DH=DE*DG
15900 DI=R62+DF*DG
16000 AA=DH/DI
16100 UEA=1./AA
16200 BA=G*DG/DI
16300 CD=BA/AA
16400 C=SQRT(CD)
16500 DQ=(R62+RO2)/DE
16600 DR=G*DF/DE
16700 C2W=CD-WO**2.
16800 CMWO=C-WO
16900 CPWO=C+WO
17000 WOH=C-WO
17100 C2A=2.*C*AA
17200 DJ=EXP(C2A*TIME(I))
17300 DK=CPWO+CMWO*DJ
17400 DL=2.*C/DK
17500 DM=CPWO-CMWO*DJ
17600 DN=DM/DK
17700 W(I)=C*DN
17800 DO=-4.*CD*AA*C2W*DJ
17900 WP(I)=DO/DK**2.
18000 THETA(I)=C*TIME(I)+UEA*ALOG(DL)+THEO
18100 X2P(I)=DQ*WP(I)+DR
18200 AGX(I)=X2P(I)-DE*WP(I)-DF*(W(I)**2.)
18300 AGY(I)=DF*WP(I)-DE*(W(I)**2.)
18400 XP(I)=DQ*(W(I)-WO)+DR*TIME(I)+XPO
18500 X(I)=DQ*(THETA(I)-THEO-WO*TIME(I))+DR*(TIME(I)**2.)/2.
18600 *+XPO*TIME(I)+XO
18700 THE(I+1)=THETA(I)
18800 UGX(I)=(XP(I)-XPO)+DF*(WO-W(I))+UGXO
18900 UGY(I)=X(I)-XO-XPO*TIME(I)+DE*(WO*TIME(I)+THEO-THETA(I))+UGXO*TIME
19000 *(I)+XGYO
19100 UGY(I)=DF*(W(I)-WO)+UGYO
19200 XGY(I)=DF*(THETA(I)-WO*TIME(I)-THEO)+UGYO*TIME(I)+XGYO
19300 NOR(I)=EG2*(G-DA*(I)**2.)/(EG2+DG+DE)
19400 UQX(I)=UGX(I)-UGXO+UQXO*(W(I)-WO)*NOR(I)/(THETA(I)+BETA)
19500 NAE=PI2-THETA(I)

```

```

19600      PD(I)=PAC*COS(NAE)/SIN(NAE)
19700      XR=Y(I)-PD(I)
19750      IF(YX(I),LT,0.)YX(I)=0.
19800      XRR(I)=XR-XX(I)
19900      IF(THETA(I),EQ,Y,OR,THETA(I),LT,Y)GO TO 30
20000      IF(XRR(I),EQ,Z,OR,XRR(I),LT,Y)GO TO 55
20100 100 CONTINUE
20150      30 RIC=1.
20200      55 CONT=CONT+1.
20300      N=K
20400      DO 200 I=1,N
20500      THEM(I)=180.*THETA(I)/PI
20600 200 CONTINUE
20700      WRITE(6,20)
20800      20 FORMAT(/,3X,6HTIEMPO,7X,4HVEMP,8X,4HXEMP,6X,2HWPF,8X,5HOMEGA,5X,5HT
20900      *HETA,8X,3HX2P,9X,2HXP,9X,1HX,8X,3HVQX,/)
21000      WRITE(6,21)(CTA(I),YX(I),XX(I),WP(I),W(I),THEM(I),X2P(I),XP(I),X(I
21100      *),VQX(I),I=1,N)
21200      21 FORMAT(10(F10,4,1X))
21300      WRITE(6,22)
21400      22 FORMAT(/,3X,6HTIEMPO,7X,3HAGX,7X,3HVGX,9X,3HXGX,7X,3HAGY,8X,3HVGY,
21500      *8X,3HXGY,8X,3HNOR,8X,3HXRR,/)
21600      WRITE(6,23)(CTA(I),AGX(I),VGX(I),XGX(I),AGY(I),VGY(I),XGY(I),NOR(I
21700      *),XRR(I),PD(I),I=1,N)
21800      23 FORMAT(10(F10,4,1X))
21900      WD=W(K)
22000      VGX0=VGX(K)
22100      VGY0=VGY(K)
22200      THE0=THETA(K)
22300      XPD=XP(K)
22400      VQX0=VQX(K)
22500      X0=X(K)
22520      CONTAC=PD(K)
22600      XGX0=XGX(K)
22700      XGY0=XGY(K)
22800      DIFE=XRR(K)
22900      TIME0=CTA(K)
23200      RETURN
23300      END
23400      SUBROUTINE FORBOS(TIME,DIFE,SUM,ALFA,YX,XX,W,WP,THETA,H2P,HP,H
23500      *,ADX,UGX,XGX,AGY,VGY,XGY,NOR,TIME0,WD,THE0,VGX0,VGY0,XGX0,XGY0,HP0
23600      *,HO,VQX0,GAMA,PO,G,UD,PO2,R,PI,PI2,RG2,HH,A,L,WH,BR,TEMPO,TD,BET
23610      *,ALF,QMAX,PARA)
23700      REAL NU,INC,KKI,NOR
23800      DIMENSION TIME(40),ALFA(40),YX(40),XX(40),WP(40),W(40),THETA(40),
23900      *H2P(40),HP(40),H(40),UGX(40),AGX(40),XGX(40),AGY(40),VGY(40),XGY(4
24000      *0),NOR(40),VQX(40),CTA(40),DRR(40),THEM(40),THE(40)
24100 C
24200 C      MOVIMIENTO LIBRE ALREDEDOR DEL PUNTO H
24300 C
24350      WRITE(6,31)
24360      31 FORMAT(/,30X,5HFORBOS,/)
24365      PARA=0.
24370      IF(QMAX,GT,0.)QMAX=-QMAX
24380      IF(THE0,LT,0.)THE0=-THE0
24400      Y=-0.0001
24500      Z=0.0001
24550      CONT=1.

```

```

24555      SUM=0.
24700      NV=RO
24800      ALFAB=THEO+GAMA
24900      FA=RO*SIN(ALFAB)
25000      FB=RO*COS(ALFAB)
25100      FC=FB*(FB-UD*FA)
25200      FD=+RG2+FC
25300      AF=FA*(FB-UD*FA)/FD
25400      BF=G*(FB-UD*FA)/FD
25500      C2F=BF/AF
25550      WRITE(6,*)OMAX
25600      CF=SQRT(C2F)
25700      TYW=CIRSE(CF,AF,W0-THEO)
25750      WRITE(6,*)TYW
25800      INC=TYW/10.
25850      IF(INC.GT.0.4)INC=INC/8.
25860      IF(INC.LT.0.005)INC=0.005
25870      WRITE(6,*)INC
25900      NK=20
26000      THE(1)=THEO
26100      TIME(1)=0.
26200      DO 300 I=1,NK
26300      K=I
26400      TIME(I+1)=TIME(I)+INC
26500      CTA(I)=TIME(I)+TIEMO
26600      TIEMPO=CTA(I)
26650      IF(THE(I).LT.0.)THE(I)=-THE(I)
26700      ALFA(I)=THE(I)+GAMA
26800      YX(I)=ECTRO(HH,A,L,W0,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF)
26900      XX(I)=PROTO(HH,A,L,W0,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF)
27000      GA=RO*SIN(ALFA(I))
27100      GB=RO*COS(ALFA(I))
27200      GC=GB-UD*GA
27300      GD=GA*GC
27400      GE=RG2+GB*GC
27500      CJ=(RG2+RO2)/GA
27600      AG=GD/GE
27700      CK=GB/GA
27800      BG=G*GC/GE
27900      CL=G*CK
27950      CTK=CL/2.
28000      C2G=BG/AG
28100      CG=SQRT(ABS(C2G))
28200      CD=(RO2*GC+RG2*GB)/GD
28300      CGWO=CG+W0
28340      CGMWO=CG-W0
28400      CQ=RG2/GC
28500      W0MC=W0-CG
28600      WC2G=W0**2.-C2G
28700      C24A=4.*C2G*AG
28800      CH=2.*CG*AG*TIME(I)
28900      CI=EXP(CH)
29000      W(I)=CG*(CGWO*CI+W0MC)/(CGWO*CI-W0MC)
29050      S0TA=(CGMWO+CGWO*CI)**2.
29100      WP(I)=-C24A*WC2G*CI/S0TA
29150      SDT=(CGMWO+CGWO*CI)/(2.*CG)
29160      SRW=1./AG
29200      THETA(I)=-CG*TIME(I)+SRW*ALOG(SDT)-THEO

```

114

```

29300      H2P(I)=CJ*WP(I)-CL
29400      NOR(I)=RG2*(G-GA*W(I)**2.)/GE
29500      HF(I)=CJ*(W(I)-WO)-CL*TIME(I)+HPO
29600      H(I)=CJ*(THETA(I)+THEO-WO*TIME(I))-CTK*(TIME(I)**2.)+HPO*TIME(I)
29650      *+HO
29700      THE(I+1)=THETA(I)
29800      AGX(I)=H2P(I)-GA*WP(I)+GB*(W(I)**2.)
29900      VGX(I)=HF(I)-HPO+GA*(WO-W(I))+VGXD
30000      XGX(I)=H(I)-HO+(VGXD-HPO)*TIME(I)+GA*(WO*TIME(I)-THETA(I)-THEO)
30100      *+XGXD
30200      AGY(I)=-GB*WP(I)-GA*(W(I)**2.)
30300      VGY(I)=GB*(WO-W(I))+VGYD
30400      XGY(I)=GB*(WO*TIME(I)-THETA(I)-THEO)+VGYD*TIME(I)+XGYD
30500      KKI=ALFA(I)+2.*THETA(I)
30600      VQX(I)=VGX(I)-VGXD+VQXD+NU*(W(I)-WO)*SIN(KKI)
30700      XHR=-2.*R*COS(-THETA(I))+H(I)
30750      IF(YX(I),LT.0.)YX(I)=0.
30800      DRR(I)=XHR-XX(I)
30830      EXACT=H(I)-2.*R
30840      IF(EXACT.EQ.25.OR.EXACT.GT.25.)GO TO 361
30845      IF(THETA(I).GT.0.)GO TO 999
30950      IF(THETA(I).EQ.OMAX.OR.THETA(I).LT.OMAX)GO TO 361
30900      IF(XGY(I).EQ.Z.OR.XGY(I).LT.Y)GO TO 80
30950      IF(DRR(I).EQ.Z.OR.DRR(I).LT.Y)GO TO 90
31100      300 CONTINUE
31110      361 PARA=1.
31115      999 K=K-1
31120      IF(K.EQ.0)K=1
31200      80 SUM=1.
31250      90 CONT=CONT+1.
31300      N=K
31400      DO 400 I=1,N
31500      THEM(I)=-180.*THETA(I)/PI
31600      400 CONTINUE
31700      WRITE(6,24)
31800      24 FORMAT(/,6X,6HTIEMPO,7X,4HVEMP,9X,4HXEMP,7X,2HWP,8X,5HOMEGA,6X,5HT
31900      *HETA,9X,3HH2P,10X,2HHP,9X,1HH,9X,3HVQX,/)
32000      WRITE(6,25)(CTA(I),YX(I),XX(I),WP(I),W(I),THEM(I),H2P(I),HF(I),H(I)
32100      *),VQX(I),I=1,N)
32200      WRITE(6,26)
32300      26 FORMAT(/,6X,6HTIEMPO,7X,3HACX,10X,3HVGX,10X,3HXGX,9X,3HAGY,8X,
32400      *3HVGY,8X,3HXGY,8X,3HNOR,9X,3NDRR,/)
32500      WRITE(6,27)(CTA(I),AGX(I),VGX(I),XGX(I),AGY(I),VGY(I),XGY(I),NOR(I)
32600      *),DRR(I),I=1,N)
32700      25 FORMAT(10(F10.4,2X))
32800      27 FORMAT(9(F10.4,2X))
32900      WO=W(K)
33000      VGXD=VGX(K)
33100      VGYD=VGY(K)
33200      THEO=THETA(K)
33300      HPO=HF(K)
33400      HO=H(K)
33500      VQXD=VQX(K)
33600      TIMEO=CTA(K)
33700      DIFE=DRR(K)
33800      XGXD=XGX(K)
33900      XGYD=XGY(K)
33950      IF(SUM.EQ.1.)THEO=0.
34000      RETURN
34100      END

```

```

34200      FUNCTION PROTO(HH,A,L,WW,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF)
34300      REAL L
34400 C     CALCULA EL DESPLAZAMIENTO DEL BRAZO EMPUJADOR EN FUNCION DEL TIEMPO
34500 C
34600      DELT=ARSIN(HH/(A*L))
34700      PA=BET+WW*(TIEMPO+TD)
34800      PPA=BET+WW*TD
34900      PB=SIN(PA)
35000      PPB=SIN(PPA)
35100      PC=BB-COS(PA)
35200      PPC=BB-COS(PPA)
35300      PD=ATAN2(PB,PC)
35400      PPD=ATAN2(PPB,PPC)
35500      PE=ALF-PD-DELT
35600      PPE=ALF-PPD-DELT
35700      PF=A*SIN(PC)
35800      PPF=A*SIN(PPC)
35900      PG=(HH+PF)/L
36000      PPG=(HH+PPF)/L
36100      PH=ARSIN(PG)
36200      PPH=ARSIN(PPG)
36300      PJ=L*COS(PH)
36400      PPJ=L*COS(PPH)
36500      PK=(A*L)*COS(DELT)
36510      PL=A*COS(PE)
36520      PPL=A*COS(PPE)
36600      PROTQ=(PK-PJ-PL)-(PK-PPJ-PPL)
36700      RETURN
36800      END
36900      FUNCTION ECTRO(HH,A,L,WW,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF)
37000      REAL KSI,KSIF,L
37100 C
37200 C     CALCULA LA VELOCIDAD DEL BRAZO EMPUJADOR EN F(T)
37300 C
37400      YM=ARSIN(HH/(A*L))
37500      YA=BB*COS(BET+WW*(TIEMPO+TD))
37600      YB=1.-YA
37700      YC=(BB**2.)-(2.*YB**2.)
37800      FIP=(YB/YC)*WW
37900      YD=BET+WW*(TIEMPO+TD)
37910      YE=COS(YD)
38000      YF=SIN(YD)
38100      YG=BB-YE
38200      YH=ATAN2(YF,YG)
38300      FI=ALF-YH
38400      YI=(A*SIN(FI-YM)+HH)/L
38500      KSI=ARSIN(YI)
38550      KSIF=(A*FIP*COS(FI-YM))/(L*COS(KSI))
38600      V=L*KSIF*SIN(KSI)+A*FIP*SIN(KSI-YM)
38700      ECTRO=V
38800      RETURN
38900      END
39000      SUBROUTINE SELENE(THETA,UGXO,UGYO,UGZO,MO,CTO,UME,VFO,B,R,MO,MI,
39010      *R62,LE,HH,A,L,WW,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF,VARO,XO,VARC,
39100 C     IMPACTO DURANTE EL MOVIMIENTO LIBRE ALREDEDOR DE P
39200 C
39300      REAL NU,LF
39350      WRITE(6,71)
39360      71 FORMAT(/30X,4HSELENE,/)

```

```

39370      WRITE(6,666)
39390 666  FORMAT(/,30X,21HCONDICIONES INICIALES,/)
39400      PAC=LK+BMF
39450      IMPACT=IMPACT+1
39460      WRITE(6,*/)IMPACT
39500      GA=PI2-THEO
39600      GIA=SIN(GA)
39610      POSIL=PAC*COS(GA)/GIA
39620      XNS=POSIL
39700      FP=B-PAC/GIA
39800      NV=SQRT(R**2.+FP**2.)
39900      BETA=ATAN2(FP,R)
40000      ALFI=THEO+GAMA
40100      BETI=THEO+BETA
40200      EA=RO*SIN(ALFI)
40300      EB=RO*COS(ALFI)
40400      EC=NV*SIN(BETI)
40500      ED=EB+UD*PAC
40600      EE=EB*ED
40700      EF=EA-PAC
40800      YXP=ECTRO(HH,A,L,WW,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF)
40900      VQXO=VGXO+W0*EC
41000      EG=YXP+E*(YXP-VQXO)
41100      VGXA=EC*(VGXO*EF-VGYO*ED-RG2*W0)+EG*(RG2+EE)
41200      VGXB=VGXA/(RG2+EE+EC*EF)
41300      VGYB=EB*(RG2*W0+(VGXB-VGXO)*EF+VGYO*ED)/(RG2+EE)
41400      W0=W0+((VGXB-VGXO)*EF-(VGYB-VGYO)*ED)/RG2
41500      VGXO=VGXB
41600      VGYO=VGYB
41700      VQXO=EG
41800      XPO=VGXO+W0*EA
41900      VPYO=VGYO-W0*EB
41950      XO=0.15+X0
41955      XGXO=XGXO+0.15
41960      WRITE(6,*/)W0,VGXO,VGYO,XPO,XNS,X0
41970      WRITE(6,*/)VQXO,XPO,VPYO,CONTAC
42000      RETURN
42100      END
42200      SUBROUTINE URANO(VQXO,W0,VGYO,VGXO,E,UD,R,RG2,F,X0,HH,A,L,WW
42210      *,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF,B,HFO,THEO,XGYO,H0)
42220      WRITE(6,81)
42230 81  FORMAT(/,30X,5HURANO,/)
42300      UA=ECTRO(HH,A,L,WW,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF)
42400      UB=F-B
42450      UC=R+UD*UB
42500      UE=RG2+R*UC
42550      UF=UE+F**2.
42600      VQXO=UA+E*(UA-VQXO)
42650      UG=F*(F*VGXO+UC*VGYO-RG2*W0)
42660      VGXA=(VQXO*UE+UG)/UF
42700      VGYA=(R*(UC*VGYO-RG2*W0-F*(VGXA-VGXO)))/UE
42800      WA=W0+(UC*(VGYA-VGYO)+F*(VGXA-VGXO))/RG2
42850      W0=WA
42900      VGXO=VGXA
43000      VGYO=VGYA
43100      THEO=0.
43200      XGYO=0.
43400      HFO=VGXO+B*W0

```



```

43450      HO=XO+2.*R+0.15
43460      WRITE(6,*)HO,VGXO,VGYO
43470      WRITE(6,*)VQXO,WO,HFO
43500      RETURN
43600      END
43700      SUBROUTINE DEIMOS(WO,VGXO,VGYO,HFO,RG2,R,UD,XO,B,HO,F,THEO,XGYO,
43750      *VQXO,XGXO)
43800 C      IMPACTO SOBRE LA BANDA ALREDEDOR DE H
43820      WRITE(6,555)
43830      555 FORMAT(/,30X,21HCONDICIONES INICIALES,/)
43850      WRITE(6,99)
43860      99 FORMAT(/,30X,4HDEIMOS,/)
43865      IF(THEO.LT.0.)THEO=0.
43870      HK=UD*B-R
43900      HA=RG2-R*HK
44000      VGYA=(R*(-WO*RG2-VGYO*HK))/HA
44100      VGXA=VGXO-UD*(VGYA-VGYO)
44200      WO=WO-(UD*B-R)*(VGYA-VGYO)/RG2)
44300      VGYO=VGYA
44400      VGXO=VGXA
44600      HFO=(VGXO+WO*B)
44700      HO=XO+2.*R+0.15
44750      VQXO=VGXO+WO*F
44760      XFO=VGXO+WO*B
44770      WRITE(6,*)WO,VGYO,VGXO,HFO,HO,VQXO
44780      XGYO=0.
44790      XGXO=XGXO+0.15
44800      RETURN
44900      END
45000      SUBROUTINE SIRIO(THEO,VQXO,WO,VGYO,VGXO,GAMA,RO,RG2,RO2,F,B,HH,A,L
45010      *WW,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF,HO,E,UD,HFO,OMAX,XGXO)
45050      WRITE(6,222)
45060      222 FORMAT(/,30X,21HCONDICIONES INICIALES,/)
45100      REAL NV,K1,KSSI
45120      IF(THEO.LT.0.)THEO=-THEO
45150      WRITE(6,101)
45160      101 FORMAT(/,30X,5HSIRIO,/)
45200      ALFF=THEO+GAMA
45300      VEP=ECTRO(HH,A,L,WW,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF)
45400      KSSI=ALFF-2.*THEO
45500      ZFG=VEP+E*(VEP-VQXO)
45600      NV=RO
45700      ZPA=RO*SIN(ALFF)
45800      ZPB=RO*COS(ALFF)
45900      ZPC=NV*SIN(KSSI)
46000      ZPE=NV*COS(KSSI)
46100      K1=ZPB+UD*(ZPC-ZPA)
46200      ZPD=RG2+ZPB*K1
46300      ZPF=RG2+K1*ZPB+ZPC*ZPC
46400      ZPH=RG2*WO-K1*VGYO-ZPC*VGXO
46500      VGXA=(ZFG*ZPD-ZPC*ZPH)/ZPF
46600      ZPM=RG2*WO-K1*VGYO+ZPC*(VGXA-VGXO)
46700      VGYA=-ZPD*ZPM/ZPD
46800      ZPN=(K1*(VGYA-VGYO)+ZPC*(VGXA-VGXO))/RG2
46900      WO=WO+ZPN
47000      VGXO=VGXA
47100      VGYO=VGYA
47200      VQXO=ZFG
47240      HO=HO+0.15

```

```

47245      XGXO=XGXO+.15
47250      HFO=VGXO+W0*ZFA
47260      WRITE(6,*)W0,VGXO,UGYO,HO,VQXO,XGXO
47300      RETURN
47400      END
47500      FUNCTION POLI(CF,AF,THEO,W0)
47550      WRITE(6,103)
103      FORMAT(/,30X,4HPOLI,/)
47600      ZP=AF*THEO
47700      ZPF=EXP(ZP)
47800      ZK=EXP(2.*ZP)
47880      ZA=(ZK-1.)*CF**2.
47900      ZB=ZA+W0**2.
48000      ZC=CF-W0
48100      ZD=CF*ZPF
48200      ZE=SQRT(ABS(ZB))
48300      ZH=(ZD+ZE)/ZC
48400      ZG=1./(AF*CF)
48500      TIM=ZG*ALOG(ZH)
48600      POLI=TIM
48900      RETURN
49000      END
49100      FUNCTION CIRSE(CF,AF,W0,THEO)
49140      IF(THEO.LT.0.)THEO=-THEO
49150      WRITE(6,111)
111      FORMAT(/,30X,5HCIRSE,/)
49190      IF(THEO.LT.0.)THEO=0.
49300      CPWO=CF+W0
49350      CFWO=CF-W0
49360      VFGG=CFWO/CPWO
49400      FG=AF*THEO
49500      FH=EXP(-2.*FG)
49550      FHH=EXP(-FG)
49600      FQ=(FH-1.)*CF**2.
49700      FQ=FQ+W0**2.
49800      FT=SQRT(ABS(FQ))
49880      XGYO=0.
50000      FP=1./(CF*AF)
50100      IF(W0)77,79,79
50150      77 FO=ABS((CF*FHH+FT)/CFWO)
50160      GO TO 83
50180      79 FO=ABS((CF*FHH-FT)/CFWO)
50190      83 CIRSE=ABS(FP*ALOG(FO))
50300      RETURN
50400      END
50500      SUBROUTINE DENE(B(WO,UGXO,THEO,XGYO,UGYO,XFO,UD,B,R,RG,RG2,F,HO,
50520      *VQXO,XO)
50525      U=UD
50530      WRITE(6,999)
50540      999 FORMAT(/,30X,5HDENE(B,/)
50560      WRITE(6,333)
50580      333 FORMAT(/,30X,21HCONDICIONES INICIALES,/)
50600      BA=RG2+R*(U*B+R)
50700      BC=RG2*W0+(U*B+R)*UGYO
50800      VGYA=(R*BC)/BA
50900      VGXA=VGXO-U*(VGYA-UGYO)
51000      WA=W0+(U*B+R)*(UGYO-VGYA)/RG2
51100      WFW=W0+(U*B+R)*(UGYO-R*W0)/BA

```

```

51200      XO=HO-2.*R
51300      XFO=VGXA+WA*B
51400      VQXO=VGXO+F*WO
51500      WO=WA
51600      VGXO=VGXA
51700      VGYO=VGYA
51750      THEO=0.
51760      XGYO=0.
51800      WRITE(6,*)XO,XFO,VQXO,WO,VGXO,VGYO
51900      RETURN
52000      END
52100      SUBROUTINE PLUTON(VQXO,WO,VGYO,VGXO,E,UD,R,BMF,RG2,F,
52200      *XO,HH,A,L,WW,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF,B,XFO,THEO,XGYO,HO)
52250      VA=UD*B+R
52300      WRITE(6,907)
52400      907 FORMAT(/,30X,6HPLUTON,/)
52500      VA=ECTRO(HH,A,L,WW,BB,TIEMPO,TD,BET,ALF)
52600      VQXO=VA+E*(VA+VQXO)
52700      ANE=R+UD*B*BMF
52800      ANA=RG2+R*ANE
52900      ANB=ANA+F**2.
53000      ANC=-F*(RG2*WO+ANE*VGYO)+VGXO*F**2.
53100      ANF=VQXO*ANA
53150      VGXA=(ANF+ANC)/ANB
53200      VGYA=(R*(RG2*WO+F*(VGXA-VGXO)+ANE*VGYO))/ANA
53300      WO=WO+(F*(VGXA-VGXO)-ANE*(VGYA-VGYO))/RG2
53400      VGXO=VGXA
53500      VGYO=VGYA
53600      THEO=0.0
53700      XGYO=0.0
53800      XFO=VGXO+B*WO
53900      XO=HO-2.*R+.15
54000      WRITE(6,*)HO,VGXO,VGYO
54500      WRITE(6,*)VQXO,WO,XFO
54600      RETURN
54700      END

```

◆

SA

◆WORKFILES ALREADY SAVED

Ya se ha dado una breve introducción al mecanismo que controla el movimiento del brazo empujador que usa tanto el empujador actual como el modificado (desarrollado en el Instituto de Ingeniería). También como se dijo anteriormente el programa ALEPH contiene una función que nos da el desplazamiento y la velocidad para cualquiera de los mecanismos que se elija. Ahora, como puede verse, ya estamos listos para hacer comparaciones entre ambos empujadores y además, averiguar que tan reales son los resultados numéricos que nos proporciona el programa ALEPH.

Bien, se eligió para una primera simulación la función que nos describe el movimiento del brazo empujador actual y las características geométricas, coeficientes de fricción y de restitución que se definieron experimentalmente para el envase Coca cola de 12 oz. Se supuso una velocidad angular de 1.7 rad/seg (3.67 seg/ciclo) para la flecha de entrada del mecanismo barra OO' de la fig 5.1). Esta velocidad es suficientemente alta para que dicho envase caiga, según experimentos que se han realizado (*). Se esperaba que los valores numéricos indicaran dicha caída, lo cual no aconteció ya que, los valores máximos alcanzados durante la simulación fueron:

$$\theta = 3.2^\circ$$

$$\omega = -2.2 \text{ rad/seg}$$

lo que indica cierta inestabilidad del envase, pero no la suficiente para que caiga. Esto quiere decir que los modelos matemáticos al haber considerado que el empuje del envase se reduce a un movimiento plano, que no existe cambio de superficie de deslizamiento (en la transición banda transversal-placas muertas) ni la discontinuidad (vertical en la unión de ambas) de dichas superficies, adolece prácticamente de veracidad con respecto a las condiciones físicas con las que se presenta el empuje de los envases estrictamente hablando. Claro está que si dichas restricciones impuestas a los modelos fueran reales, tendríamos un buen programa para simular el empuje de los envases.

(*) "Empujador de retorno rápido" Informe interno del Instituto de Ingeniería.

Durante las siguientes simulaciones se observó, que si variamos el coeficiente de restitución "e" (manteniendo todos los demás parámetros constantes), de tal forma que:

$$e \rightarrow 0$$

tenemos que; el número de impactos o de contactos que recibe el envase del brazo empujador

$$n_i \rightarrow \infty$$

es decir; un empuje, sin que haya oportunidad de que se presenten movimientos libres. Ahora si $e = 0.3$ se presentan movimientos libres enlazados, queriendo decir con esto que, hay cambios en el punto de apoyo del envase con su consecuente aumento en la inestabilidad del mismo, por lo que se recomienda revestir el brazo empujador con un material que absorba el impacto (que tenga un coeficiente de restitución muy bajo).

Por otro lado en la tabla 5.6 se dan los valores numéricos del análisis del movimiento libre completo de un envase cuando su punto de apoyo es P; en el se observa que el desplazamiento de dicho punto presenta en los momentos finales, un pequeño regreso que varía según las condiciones iniciales del movimiento.

ENVASE COCA COLA 26 OZ
 RADIO DE GIRO = 9.96
 RADIO DE LA BASE = 3.70
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 10.400
 COEFICIENTE DE RESTITUCION = .331
 COEFICIENTE DE FRICCION ESTATICO = 0.27
 VELOCIDAD DEL EMPUJADOR = 50.000
 COEFICIENTE DE FRICCION DINAMICO = .28000

T=0.122182770024, F=9.4, IMPAC=1.0, GAM=70.416006229,
 WD=3.09287423176, VPO=69.642874232, VGYD=11.4436346575, VGX0=37.4769822216,

TIEMPO	T2F	OMEGA	THETA	X2F	VP	X	VGX
0.00000	-47.13160	3.09287	0.00000	-652.77079	69.64287	0.00000	66.55000
0.01222	-48.96004	2.50552	1.96090	-691.63426	61.42292	0.80116	58.98019
0.02444	-50.44793	1.89785	3.50326	-723.25911	52.77122	1.49920	51.12033
0.03665	-51.54775	1.27133	4.61439	-746.63589	43.78259	2.08936	42.98827
0.04887	-52.22302	0.63993	5.28492	-760.98870	34.56280	2.56816	34.65040
0.06109	-52.45073	-0.00000	5.50907	-765.82864	25.22543	2.93347	26.17549
0.07331	-52.22302	-0.63993	5.28492	-760.98870	15.89806	3.18458	17.63510
0.08553	-51.54775	-1.27433	4.61439	-746.63589	6.66828	3.32220	9.09534
0.09775	-50.44793	-1.89785	3.50326	-723.25911	-2.32036	3.32036	0.60885
0.10996	-48.96004	-2.50552	1.96090	-691.63426	-10.97206	3.26687	-7.79185
0.12218	-47.13160	-3.09287	-0.00000	-652.77079	-19.19201	3.08211	-16.09914

TIEMPO	AGX	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	NOR
0.00000	-197.99584	37.47698	0.00000	-273.87199	11.44363	0.00000	-707.12801
0.01222	-205.67697	35.43633	0.44568	-246.43938	9.48070	0.12791	-734.56062
0.02444	-211.92743	33.29056	0.98630	-224.11631	7.78973	0.23550	-756.88369
0.03665	-216.54771	31.00961	1.26044	-207.61531	6.25834	0.32585	-773.38469
0.04887	-219.38446	28.63506	1.62634	-197.48408	4.75606	0.39865	-783.51592
0.06109	-220.34104	26.17549	1.96200	-194.06770	3.14089	0.45000	-786.93230
0.07331	-219.38446	23.65044	2.26518	-197.48408	1.26673	0.47224	-783.51592
0.08553	-216.54771	21.07400	2.53319	-207.61531	-1.00871	0.45413	-773.38469
0.09775	-211.92743	18.44862	2.76242	-224.11631	-3.81595	0.38116	-756.88369
0.10996	-205.67697	15.76001	2.94781	-246.43938	-7.26603	0.23614	-734.56062
0.12218	-197.99584	12.97388	3.08211	-273.87199	-11.44363	-0.00000	-707.12801

TABLA 5.6 Movimiento libre alrededor del punto P, después de impacto

5.3 Resultados numéricos

Tal como se expresó anteriormente, los resultados numéricos que se obtienen con el programa ALEPH no describen el comportamiento real brazo empujador-envase, dadas las restricciones impuestas a los modelos, pero aún así podemos comparar el comportamiento entre ambos empujadores y tener una idea de los fenómenos que se pueden presentar.

Se alimentó a la computadora con los datos de dos envases; Pepsi cola larga y Coca cola de 12 oz para hacer las comparaciones.

En la tabla 5.7 se resumen los valores numéricos obtenidos de los diferentes parámetros para el momento, en el cual, el envase se encuentra en una posición de inestabilidad máxima de acuerdo con las simulaciones. En el apéndice 5 se encuentran los resultados completos de cada simulación.

A modo de ejemplo se tomaron los resultados de la simulaciones 5 y 6 que se grafican en las figuras 5.8 y 5.9 respectivamente.

La trayectoria que se gráfica en la figura 5.8 indica la caída del envase Pepsi cola larga utilizando la función que describe el movimiento del brazo empujador actual, en esta simulación la velocidad angular de entrada al mecanismo es de 2.4 rad/seg (2.61 seg/ciclo). Los puntos en la parte superior indican el desplazamiento del centro de masa del envase y los puntos en la parte inferior señalan el desplazamiento del punto de apoyo, las marcas verticales indican el número de contactos brazo empujador-envase durante el movimiento (las colocadas hacia arriba indican que el punto de giro del envase se encontraba en H cuando ocurrió el contacto y las marcas hacia abajo que el punto de giro es P).

En la fig 5.9 también se gráfica la trayectoria que sigue el mismo envase, pero ahora la función que se usa para describir el movimiento del brazo empujador es del mecanismo modificado. Esta vez el envase no cae. Es de apreciarse que el empujador modificado abre nuevas posibilidades para poder aumentar la producción de los envases.

VALORES NUMERICOS DE LOS PARAMETROS PRINCIPALES EN LAS SIMULACIONES

PEPSI L.	n	ω_R	t_{de}	t_{tr}	d_{tr}	V_{oi}	V_{emp}	X_{emp}	$\dot{\omega}$	ω	0	\ddot{X}	\dot{X}	X	A_{GX}	V_{GX}	A_{GY}	V_{GY}	t_i	Posición	T_t
E actual	1	2.0	0.4	0.64	25.00	34.29	40.92	5.42	-50.06	0.03	7.70	-677.9	39.3	6.10	-112.55	39.87	-73.28	0.63	0.14	traslado	T amb
E modif	2	2.0	0.4	1.02	25.00	20.15	21.77	1.04	-62.93	0.05	1.81	-799.1	18.9	1.27	-101.60	18.32	-161.23	0.17	0.05	traslado	T amb
E actual	3	2.0	0.4	0.84	25.01	34.29	41.99	9.70	-122.15	1.01	5.41	-1966.9	49.7	15.48	-706.08	38.38	195.81	-1.87	0.24	traslado	500°C
E modif	4	2.0	0.4	1.03	25.03	20.15	23.61	2.52	-100.44	1.02	2.42	-1846.7	30.9	8.33	-727.72	19.52	231.87	-2.46	0.11	traslado	500°C
E actual	5	2.4	0.4	0.28	13.51	46.39	42.93	13.56	-127.86	-1.28	14.19	-2040.8	45.6	19.31	-586.10	60.23	-4.16	0.14	0.28	caída	500°C
E modif	6	2.4	0.4	0.92	25.00	27.19	32.18	4.79	-100.07	-0.87	2.49	-1844.3	8.7	10.52	-730.70	18.44	236.90	2.15	0.16	traslado	500°C
E actual	7	2.4	0.5	0.26	13.36	50.34	33.56	12.09	-116.97	-2.90	14.23	-1886.8	20.31	17.76	-553.99	53.35	-57.68	0.95	0.26	caída	500°C
E modif	8	2.4	0.6	0.95	20.07	32.90	31.98	8.31	-112.82	0.91	5.53	-1974.91	37.52	14.23	-706.49	27.25	196.49	-1.66	0.25	traslado	500°C
E actual	9	2.0	0.5	0.35	14.12	39.50	33.39	14.01	-130.20	-0.46	14.54	-2071.70	37.13	19.77	-590.54	42.41	3.23	0.02	0.35	caída	500°C
E modif	10	2.0	0.7	1.16	20.63	27.19	27.97	5.36	-108.66	1.19	4.58	-1929.69	35.71	11.16	-710.19	22.35	202.65	-2.40	0.19	traslado	500°C
COCA COLA 12 (oz)																					
E actual	11	2.0	0.4	0.76	24.88	34.29	36.70	15.90	2.56	0.01	7.67	-101.41	37.70	21.50	-127.03	37.81	-3.79	0.01	0.40	traslado	T amb
E modif	12	2.0	0.4	1.03	25.72	20.15	24.40	3.28	16.27	0.06	1.95	36.98	26.05	8.97	-122.30	25.44	-40.18	-0.15	0.14	traslado	T amb
E actual	13	2.0	0.4	0.83	25.17	34.29	38.17	2.51	-83.81	-0.07	3.94	-1230.12	33.46	2.87	-413.10	34.13	-178.80	-0.12	0.06	traslado	500°C
E modif	14	2.0	0.4	1.03	25.00	20.15	23.57	19.64	-38.37	0.66	1.39	-929.54	28.35	25.35	-553.63	21.83	94.00	-1.71	0.75	traslado	500°C
E actual	15	2.4	0.3	0.38	17.74	37.91	42.90	17.82	-72.82	-1.03	15.94	-1235.79	39.27	23.34	-500.67	49.72	-8.81	0.02	0.38	caída	500°C
E modif	16	2.4	0.3	0.86	25.16	22.48	28.58	3.48	-40.34	0.76	2.05	-949.72	34.51	9.16	-553.14	26.98	93.06	-1.88	0.13	traslado	500°C
E modif	17	2.4	0.5	1.05	23.31	30.69	33.70	6.58	-43.53	0.72	3.11	-982.90	39.11	12.25	-553.42	31.98	93.60	-1.64	0.20	traslado	500°C

Tabla 5.7. Resumen de los valores numéricos obtenidos en las simulaciones. Se compara el empujador actual con el modificado para iguales condiciones de entrada. Obsérvese que usando el empujador actual el envase siempre presenta mayor inestabilidad. La nomenclatura usada se encuentra en la siguiente página.

Nomenclatura

ω_R	= velocidad angular del reductor	rad/seg
t_{de}	= tiempo defasado del empujador	seg
t_{tr}	= tiempo total de recorrido	seg
d_{tr}	= distancia total recorrida	cm
V_{oi}	= velocidad inicial de impacto	cm/seg
V_{emp}	= velocidad del empujador	cm/seg
X_{emp}	= distancia recorrida por el empujador	cm
ω	= velocidad angular del envase	rad/seg
$\dot{\omega}$	= aceleración angular del envase	rad/seg ²
$\theta_{m\acute{a}x}$	= desplazamiento angular máximo alcanzado	grados
\ddot{X}	= aceleración del punto de apoyo (P ó H)	cm/seg ²
\dot{X}	= velocidad del punto de apoyo (P ó H)	cm/seg
X	= desplazamiento del punto de apoyo (P ó H)	cm
A_{GX}	= aceleración del centro de masa del envase (dirección x)	cm/seg ²
V_{GX}	= velocidad del centro de masa (dirección x)	cm/seg
A_{GY}	= aceleración del centro de masa del envase (dirección y)	cm/seg ²
V_{GY}	= velocidad del centro de masa (dirección y)	cm/seg ²
t_i	= tiempo transcurrido a partir del primer impacto	seg
T_t	= temperatura a la que se efectuó la simulación	°C
n	= número asignado en la corrida	



Fig 5.8 Trayectoria del envase Pepsi Cola larga
(empujador actual)

trayectoria que sigue el centro de masa del envase

trayectoria que sigue el punto de apoyo del envase (P 6 H)

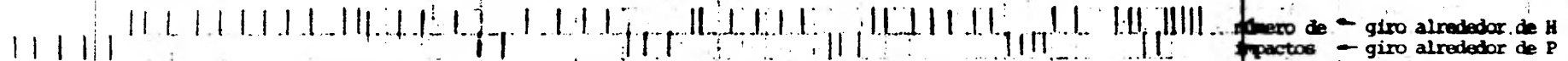


Fig 5.9 Trayectoria del envase Pepsi Cola larga
(empujador modificado)

Por otro lado, en la tabla 5.7 también se puede observar, que no da los mismo empezar el empuje del envase en cualquier posición de la banda transversal, ahora bien, si volvemos ha agrupar los resultados de la tabla 5.7 de la siguiente manera:

n	empuje	ω_R	t_{de}	V_{oi}	$\theta_{m\acute{a}x}$	envase
6	E. M	2.4	0.4	27.19	2.49	PEPSI COLA LARGA
8	E. M	2.4	0.6	32.90	5.53	
3	E. A	2.0	0.4	34.29	5.41	
9	E. A	2.0	0.5	39.50	14.54	
16	E. M	2.4	0.3	22.48	2.05	COCA
17	E. M	2.4	0.5	30.69	3.11	COLA 12 oz

se ve más claro lo dicho anteriormente, podría decirse entonces que para un mejor empuje, la posición del envase sobre la banda transversal debe ser tal que, en el instante de contacto, la aceleración del brazo empujador no exceda los valores que se estipulan en el capítulo 3.

A la luz de los resultados anteriores, hemos confirmado que el usar el empujador modificado disminuye la probabilidad que el envase caiga. Además considerando las curvas de velocidad y aceleración que presenta este mecanismo en el empuje hemos de notar que son mucho mas suaves, que las que rigen el mecanismo actual. Ahora el hecho de la existencia de factores exteriores fuera del control del mecanismo modificado (tales como el escalón que existe entre la banda transversal y placas muertas que puede hacer caer al envase), no implica que éste no sea una muy buena solución al problema de empujar envases rápidamente.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la primera parte de este estudio se obtuvieron los parámetros principales que afectan el empuje de un envase como son:

1. características geométricas e inerciales para varios envases
2. coeficientes de fricción estática y dinámica a diferentes temperaturas
3. coeficientes de restitución brazo empujador-envase

Analizando cada uno de los anteriores puntos:

- 1) Características físicas de varios envases. Los envases presentan diversas formas con diferentes espesores. Ahora la relación r/b nos da una idea de la inestabilidad que puede tener el envase para los diferentes coeficientes de fricción que se pueden presentar al deslizarse sobre la banda transversal (vease la gráfica de la fig 4.1).

2. Coeficientes de fricción. En estas pruebas se observó que:

- a) la fricción es mayor en dirección transversal de la banda
- b) los coeficientes de fricción aumentan al aumentar la temperatura
- c) el coeficiente de fricción disminuye al aumentar la velocidad

3. Coeficientes de restitución. Se obtuvieron para los diferentes materiales utilizados en la barra empujadora. Se usan en los modelos matemáticos y simulaciones que se analizan en los capítulos 4 y 5, en éstas se observó que es recomendable recubrir el brazo empujador con un material que absorba el impacto.

En la segunda parte de este estudio se dan los resultados obtenidos en las simulaciones brazo empujador-envase. Se concluye que el modelo matemático desarrollado es sólo una parte de un modelo más completo que puede abarcar los siguientes puntos:

- 1) el cambio de superficie entre la banda transversal y placas muertas, así como el escalón existente en la unión de las mismas
- 2) la velocidad relativa entre la banda transversal y brazo empujador
- 3) vibraciones que se presentan en el brazo empujador
- 4) coeficientes de fricción en función de la velocidad

Ahora el primer punto sería añadir al programa principal una subrutina que calculara con el análisis matemático respectivo las condiciones entrada-salida para cualquier altura del escalón.

Para el segundo punto se haría un análisis para obtener el giro del envase según la velocidad relativa existente, encontrando tal vez una cota para cada envase.

El tercer punto suele presentarse en el brazo empujador. La amplitud y frecuencia de estas vibraciones puede aumentar al incrementar la velocidad de producción. El efecto que tienen las vibraciones en dirección vertical, se puede incluir en el modelo modificando la altura f ; es decir el punto de

contacto brazo empujador-envase que se ha supuesto fijo en el programa ALEPH. Dicha altura puede sustituirse por una función de tipo senoidal de la forma:

$$f(t) = h + k \text{ sen } (\gamma t)$$

donde :

h = altura de contacto fija o sin vibración

k = amplitud de la vibración

γ = frecuencia de la vibración

El cuarto punto puede incluirse en el programa principal ALEPH como una función de tipo polinomial:

$$v(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n$$

donde a_0, a_1, \dots, a_n son coeficientes de una regresión hecha con los datos experimentales con el grado necesario de exactitud.

Con los aspectos anteriores se tendría un modelo más veraz del comportamiento brazo empujador-envase. Es de apreciarse que todo este estudio teórico-experimental nos ayuda a comprender mas los fenómenos que se presentan en el empuje de un envase, así como los parámetros más importantes que entran en juego, además de ser un estudio de tipo didáctico.

APENDICE 1. DATOS EXPERIMENTALES; coeficientes de restitución

Tabla A1.1 Coefficientes de restitución para una tira de asbesto dura

Longitud de la cuerda empleada 1.8 m. A temperatura ambiente.

Distancia inicial $d_1 = 15$ cm.

# de evento	Coça cola 1/2 Oz	Quita Pon	Zulia	Pepsi Larga	Gerber
1.-	0.2660	0.1990	0.1990	0.2660	0.1332
2.-	0.2660	0.1990	0.2330	0.1660	0.1332
3.-	0.3330	0.1990	0.2660	0.1990	0.1990
4.-	0.2660	0.1332	0.1990	0.1332	0.1990
5.-	0.1990	0.1332	0.2660	0.1660	0.2330
6.-	0.2660	0.1332	0.2660	0.1990	0.1990
7.-	0.2660	0.1332	0.2997	0.2660	0.1990
8.-	0.2330	0.1332	0.1990	0.1660 ⁽¹⁾	0.1332
9.-	0.2997	0.1332	0.2660	0.2330	0.1990
10.-	0.2660		0.2330	0.2997	0.1990
11.-	0.1990		0.2330	0.1990	0.1332
12.-	0.2660		0.2660	0.2660	0.1990
13.-	0.2660		0.2660	0.1660	0.1990
14.-	0.1990		0.2660	0.3330	0.1332
15.-	0.2660		0.2660	0.2330	0.1990
16.-	0.2660		0.2660	0.2660	0.2330
17.-	0.2660		0.2660	0.1332	0.1332
18.-	0.1990		0.2660	0.3330	0.1990
19.-	0.2660		0.2330	0.2997	0.2330
20.-	0.3330		0.2660	0.1990	0.2330
(A) Promedio =	0.25934		0.25104	0.22609	0.18606
(B) Desviación estándar =	0.03759		0.02690	0.06110	0.03691
$\frac{(B)}{(A)} \times 100 =$	14.49 %		10.71%	27.02%	19.84%

Tabla A1.2 Coefficientes de restitución para un tira de asbesto blanda

Longitud de la cuerda empleada 1.8 m. A temperatura ambiente.

Distancia inicial $d_1 = 15$ cm

Experi- mento No.	Coca-Cola (12 oz)	Cerveza Qui- ta-pon	Cerveza Zulia	Pepsi-Cola larga	Garber
1.-	0.3997	0.2997	0.4330	0.3997	0.3330
2.-	0.3330	0.3330	0.4663	0.3997	0.3660
3.-	0.3330	0.2660	0.4663	0.4330	0.3330
4.-	0.3997	0.3330	0.4330	0.3997	0.3330
5.-	0.4330	0.3660	0.4330	0.3997	0.3330
6.-	0.3997	0.3330	0.4663	0.4330	0.2660
7.-	0.3330	0.3330	0.4330	0.3997	0.3330
8.-	0.3330	0.3660	0.4330	0.4330	0.3330
9.-	0.2660	0.3330	0.3997	0.4663	0.3330
10.-	0.3330	0.3997	0.4330	0.3660	0.3330
11.-	0.3330	0.2997	0.4330	0.3330	0.3330
12.-	0.3330	0.3330	0.3997	0.3997	0.3330
13.-	0.3997	0.3330	0.4330	0.3997	0.3660
14.-	0.3997	0.2997	0.3997	0.4330	0.3660
15.-	0.3997	0.2997	0.3997	0.3330	0.3660
16.-	0.3997	0.3997	0.4663	0.3997	0.3330
17.-	0.3997	0.3660	0.4663	0.3660	0.3330
18.-	0.3997	0.3997	0.4330	0.3330	0.3330
19.-	0.3997	0.3997	0.4663	0.3997	0.3330
20.-	0.3660	0.3997	0.3997	0.3997	0.3330
(A) Prome- dio = 0.36965		0.34462	0.43460	0.39631	0.33620
(B) Desvia- ción es- tandar = 0.04070		0.03983	0.02463	0.03482	0.02077
(B) (A) × 100	11.01%	11.55%	5.67%	8.78%	6.18%

**APENDICE 2. DATOS EXPERIMENTALES; coeficientes de fricción
dinámica a temperatura ambiente**

En las tablas A2.1 y A2.2 se dan los coeficientes de fricción
dinámica a temperatura ambiente en dirección longitudinal y
transversal respectivamente.

TABLA A.1 Valores experimentales de los coeficientes de fricción dinámica a temperatura ambiente (dirección longitudinal)

GERBER					
n	m(gr)	d(cm)	t(seg)	v(cm/seg)	μ_{DL}
1	26.67	7.5	2.00	7.5	0.2833
1	26.67	7.5	1.3	10.76	0.2694
1	26.67	7.0	1.2	11.66	0.2650
1	26.67	7.3	1.4	10.42	0.2720
1	26.67	7.3	1.9	7.68	0.2820
1	26.67	7.0	1.5	9.33	0.2750
1	26.67	7.0	1.6	8.75	0.2780
1	26.67	6.8	1.5	9.06	0.2760
1	29.94	11.6	1.1	21.09	0.2716
1	29.94	12.5	0.90	27.77	0.2355
1	29.94	12.7	0.80	31.75	0.2082
1	29.94	13.0	0.90	28.88	0.2316
1	29.94	12.8	0.95	26.94	0.2432
1	29.94	12.8	0.90	28.44	0.2332
1	32.56	12.4	0.90	27.55	0.2642
1	32.56	13.7	0.95	28.84	0.2651
1	32.56	13.4	0.95	28.21	0.2611
1	32.56	12.8	0.90	28.44	0.2612
1	32.56	13.5	0.75	36.00	0.2100
1	32.56	13.5	0.90	30.00	0.2558
1	32.56	13.5	0.95	28.42	0.2666
2	32.56	14.2	0.60	48.33	0.1424
1	39.54	14.0	0.50	56.00	0.0781
2	39.54	15.5	0.50	62.00	0.0403
3	39.54	15.7	0.55	56.36	0.1049
1	39.54	16.0	0.60	53.33	0.1526
1	39.54	15.7	0.50	62.80	0.0351

CERVEZA ZULIA					
n	m(gr)	d(cm)	t(seg)	v(cm/seg)	μ_{DL}
1	36.95	26.5	3.8	13.94	0.1880
1	39.57	35.5	3.9	18.20	0.2000
1	48.14	35.5	1.7	41.76	0.2032
1	48.14	36.5	1.6	42.94	0.1949
1	48.14	36.5	1.4	52.14	0.1764
1	53.96	31.5	1.5	42.00	0.1818
1	53.96	31.5	1.8	35.00	0.1984
1	53.96	31.5	0.6	105.00	0.1044
1	53.96	31.6	1.76	35.90	0.1965
1	53.96	30.0	1.5	40.00	0.1844
1	54.13	39.0	0.9	86.67	0.1282
1	64.13	39.0	1.0	78.00	0.1684
1	66.43	36.0	0.8	90.00	0.1030
1	72.10	33.0	1.2	55.00	0.2228
1	72.10	25.0	1.5	33.33	0.2707
1	72.10	25.0	1.8	27.77	0.2845
1	72.10	25.0	1.45	34.48	0.2675
1	72.10	25.0	1.7	29.41	0.2807
1	80.67	26.5	1.0	53.00	0.2438
1	80.67	25.5	1.0	51.00	0.2779
1	80.67	27.5	1.0	55.00	0.2396
1	118.57	32.5	0.8	81.25	0.0755
1	124.53	36.0	0.55	130.90	0.0046

TABLA A.2 Valores experimentales de los coeficientes de fricción dinámica a temperatura ambiente (dirección longitudinal)

C O C A C O L A (1 2 o z)					
n	m(gr)	d(cm)	t(seg)	v(cm/seg)	μ_{DL}
1	100.84	35	1.50	46.66	0.1722
3	100.84	35	1.60	43.75	0.1782
1	100.84	35	1.40	50.00	0.1649
1	122.74	35	1.05	66.67	0.1657
1	122.74	35	1.15	60.86	0.1830
3	122.74	35	1.00	70.00	0.1550
6	122.74	35	0.90	77.77	0.1281
4	131.31	35	0.90	77.77	0.1450
4	164.75	35	0.70	77.77	0.1145
4	164.75	35	0.60	116.66	0.0251

C E R V E Z A Q U I T A P O N					
n	m(gr)	d(cm)	t(seg)	v(cm/seg)	μ_{DL}
1	36.95	26.5	3.80	13.94	0.1882
1	39.57	35.5	3.90	18.20	0.2000
1	48.14	35.5	1.70	41.76	0.2032
1	48.14	36.5	1.60	42.94	0.1949
1	48.14	36.5	1.40	52.14	0.1764
1	64.13	39.0	0.90	86.66	0.1282
1	64.13	39.0	1.00	78.00	0.1684
1	64.13	39.0	1.10	70.90	0.1982
1	66.43	36.0	0.80	90.00	0.1034
1	82.27	35.0	0.70	100.00	0.1024

TABLA A.2 Valores experimentales de los coeficientes de fricción dinámica a temperatura ambiente (dirección longitudinal)

P E P S I C O L A L A R G A					
n	m(gr)	d(cm)	t(seg)	v(cm/seg)	μ_{DL}
1	108.56	34.0	1.60	42.50	0.1824
3	108.56	40.0	1.70	40.00	0.1872
1	108.56	40.0	1.80	37.77	0.1912
1	108.56	40.0	1.60	41.21	0.1849
1	130.46	40.0	1.05	64.76	0.1696
5	130.46	40.0	1.00	68.00	0.1594
1	130.46	40.0	0.90	75.55	0.1336
6	146.45	40.0	0.80	85.00	0.1270
1	146.45	40.0	0.90	75.55	0.1638
1	146.45	40.0	0.75	90.66	0.1028
2	179.80	40.0	0.60	90.66	0.0462
1	179.80	40.0	0.65	104.61	0.0944

n = número de eventos

m = masa empleada en el experimento

d = distancia recorrida por el envase

t = tiempo empleado por el envase en recorrer la distancia d

V = velocidad promedio del envase

μ_{DL} = coeficiente de fricción dinámica (dirección longitudinal)

TABLA A2. Valores experimentales de los coeficientes de fricción dinámica a temperatura ambiente (dirección transversal)

G E R B E R					
n	m (gr)	d(cm)	t(seg)	v(cm/seg)	μ_{DT}
1	37.10	20.0	0.80	50.00	0.2119
2	37.10	20.0	0.75	53.33	0.1845
3	37.10	17.0	1.00	34.00	0.3023
1	40.45	17.0	0.70	48.57	0.2244
3	40.45	17.0	0.80	42.50	0.2766
3	43.07	17.0	0.80	42.50	0.3040
1	43.07	17.0	0.70	48.57	0.2513
1	51.64	17.0	0.70	48.57	0.3394
3	51.64	17.0	0.60	56.66	0.2558
3	51.64	17.0	0.50	68.00	0.1172
3	67.63	17.0	0.50	68.00	0.2694
3	67.63	17.0	0.40	85.00	0.0004

C O C A C O L A 12 (oz)					
n	m (gr)	d(cm)	t(seg)	v(cm/seg)	μ_{DT}
4	93.02	19.0	1.20	31.66	0.1630
2	93.02	19.0	1.30	29.23	0.1691
3	93.02	19.0	0.90	42.22	0.1300
1	93.02	19.0	1.00	38.00	0.1447
2	109.01	19.0	0.60	63.33	0.0698
2	109.01	19.0	0.70	54.28	0.1149
6	109.01	19.0	0.80	47.50	0.1441
7	151.83	19.0	0.50	76.00	0.1747

C E R V E Z A Z U L I A					
n	m (gr)	d(cm)	t(seg)	v(cm/seg)	μ_{DT}
1	56.44	17.0	2.90	11.72	0.2392
1	56.44	17.0	1.50	13.60	0.2365
1	59.06		2.00	17.00	0.2419
1	59.06	17.0	1.60	21.25	0.2325
1	64.79	16.0	1.20	26.66	0.2402
1	95.44	16.0	0.80	40.00	0.3114
1	95.44	16.0	0.70	45.71	0.2787
1	111.43	16.0	0.60	53.33	0.2921

C E R V E Z A Q U I T A P O N					
n	m (gr)	d(cm)	t(seg)	v(cm/seg)	μ_{DT}
1	37.10	20.0	4.10	9.75	0.1917
1	37.10	20.0	3.00	13.33	0.1875
2	37.10	20.0	2.10	19.04	0.1780
2	43.07	20.0	1.00	43.07	0.1449
1	59.06	20.0	0.80	51.64	0.1405
2	59.06	20.0	0.55	72.72	0.0260
1	59.06	20.0	0.55	72.72	0.0260
2	59.06	20.0	0.55	72.72	0.0260

TABLA A.2 Valores experimentales de los coeficientes de fricción dinámica a temperatura ambiente (dirección transversal)

PEPSI COLA LARGA					
n	m(gr)	d(cm)	t(seg)	v(cm/seg)	μ_{DT}
3	115.32	19.0	1.50	25.33	0.2114
1	115.32	19.0	2.30	16.52	0.2268
1	115.32	19.0	3.10	12.25	0.2319
1	115.32	19.0	3.20	11.87	0.2323
1	115.32	19.0	2.10	18.09	0.2245
1	115.32	19.0	1.00	38.00	0.1179
1	115.32	19.0	4.20	9.04	0.2348
1	115.32	19.0	1.90	20.00	0.2215
1	144.15	19.0	1.00	38.00	0.2351
2	144.15	19.0	0.80	47.50	0.1999
1	144.15	19.0	0.60	63.33	0.1239
3	144.15	19.0	0.70	54.28	0.1700
3	144.15	19.0	0.90	42.22	0.2205
3	160.14	19.0	0.70	54.28	0.2000
1	160.14	19.0	0.50	76.00	0.0753
2	184.99	19.0	0.60	63.33	0.1992
3	184.99	19.0	0.50	76.00	0.1187

n = número de eventos

m = masa empleada en el experimento

d = distancia recorrida por el envase

t = tiempo empleado por el envase en recorrer la distancia d

v = velocidad promedio del envase

μ_{DT} = coeficiente de fricción dinámica (dirección transversal)

**APENDICE 3. DATOS EXPERIMENTALES; coeficientes de fricción
dinámica a mayores temperaturas que la ambiente**

En las tablas A3 se dan los coeficientes de fricción dinámica a diferentes temperaturas en dirección longitudinal y transversal respectivamente.

TABLA A3. Valores experimentales de los coeficientes de fricción dinámica a diferentes temperaturas (dirección longitudinal de la banda)

TEMPERATURA		1 0 0 ° C					2 0 0 ° C					3 0 0 ° C					4 0 0 ° C					5 0 0 ° C											
ENVASE		n	m	d	t	v	μ_{d1}	n	m	d	t	v	μ_{d2}	n	m	d	t	v	μ_{d3}	n	m	d	t	v	μ_{d4}	n	m	d	t	v	μ_{d5}		
GERBER	1	1407	38	220	3454	01090		1	3150	26	130	4000	0.2520	1	3181	23	105	4380	0.2210	1	4046	22	085	5176	0.2518	1	5073	20	200	2000	0.5270		
	1	2379	27	125	4320	0.1532		1	3150	26	090	5778	0.1486	1	4201	23	100	4600	0.3159	1	3849	23	120	5411	0.3237	1	5073	20	205	1951	0.5290		
	1	2379	27	100	5400	0.0945		1	3150	26	080	6500	0.0956	1	4201	23	090	5111	0.2811	1	4691	21	060	7000	0.1356	1	5623	20	100	4000	0.4860		
	1	2379	27	080	6750	0.0584		2	3700	26	090	5778	0.2054	1	4201	23	085	5411	0.2589	1	5447	21	060	7000	0.2092	1	5623	20	110	3636	0.5090		
	1	3205	27	090	6000	0.1467		1	4270	26	070	7428	0.1731	2	5529	23	050	9200	0.0100								1	5623	20	105	3809	0.4980	
	1	3205	27	080	6750	0.0914		1	4270	26	060	8667	0.0471														2	6672	24	095	5052	0.5510	
	2	3657	27	080	6750	0.1371		1	4945	26	060	8657	0.0683																				
CERVEZA QUITA PON	1	6467	20	115	3478	0.2761		1	5900	28	080	7000	0.1220	1	7748	26	100	5200	0.2926	1	9081	14	140	2000	0.4470	1	13182	080	27	6750	0.4820		
	1	6467	20	105	3809	0.2629		1	5900	28	105	5333	0.2020	1	7748	26	120	4333	0.3286	2	9081	14	110	2545	0.4270	2	13182	060	27	9000	0.3140		
	1	6467	20	170	2352	0.3120		1	8356	28	060	9333	0.0846	1	7748	26	110	4727	0.3130	1	13282	26	080	6500	0.4950	1	14855	070	27	7714	0.4948		
	1	7050	20	110	3636	0.2990		1	8356	28	070	8000	0.1797	1	6149	12	150	1600	0.3025	1	13282	26	070	7428	0.4313	2	14855	060	27	9000	0.3892		
	1	8345	21	100	4200	0.3455		1	8475	28	075	5333	0.2840	2	9481	26	070	7428	0.2516	2	13390	26	055	9455	0.2600								
	1	8345	21	095	4420	0.3351		1	8475	28	060	6667	0.1920	1	8624	26	095	5473	0.3230	1	13390	26	070	7429	0.4364								
								1	8475	28	070	8000	0.1850	1	8624	26	080	6500	0.2680														
								2	7499	28	070	8000	0.1395	2	9499	19	070	5429	0.3200														
														1	9499	19	095	4000	0.4030														
														1	9499	19	080	4750	0.3630														
													1	9858	24	070	6857	0.2889															
													1	9858	24	100	4800	0.4080															
													2	12323	24	060	8000	0.3175															
													1	15644	24	050	9600	0.3114															
													1	15644	24	055	8727	0.4012															
CERVEZA ZULIA	1	12842	28	060	9330	0.2045		1	9076	23	120	3833	0.3260	1	12555	27	070	7714	0.2960	1	15000	27	100	5400	0.5230	1	13977	060	24	8000	0.2975		
	2	13120	28	050	11200	0.0585		2	9938	23	090	5111	0.3098	1	12555	27	075	7200	0.3280	1	12127	25	200	2500	0.4980	2	13977	070	24	6860	0.3795		
	1	13558	28	055	10181	0.1626		1	11061	23	070	6571	0.2740	1	10973	27	110	4209	0.3780	1	12127	25	210	2380	0.5010	1	15310	065	24	7385	0.3944		
	2	13558	28	050	11200	0.0732		1	11611	23	055	6363	0.1670	1	10973	27	120	4500	0.3940	1	13418	26	140	3714	0.5210	1	15310	060	24	8000	0.3474		
	2	15157	28	050	11200	0.1267		1	11816	23	060	7667	0.2288	1	12543	27	080	6750	0.3540	1	13418	26	150	3467	0.5290	1	16167	055	24	8730	0.3184		
								1	11816	23	075	6133	0.3310	1	14317	27	060	9000	0.2710	1	13418	26	145	3586	0.5250	1	16909	070	24	6260	0.4940		
														1	14317	27	050	10800	0.1170								1	17768	055	24	8730	0.3765	
														1	17318	27	045	12000	0.0930							1	19190	050	24	9600	0.5949		

TEMPERATURA		1 0 0 ° C					2 0 0 ° C					3 0 0 ° C					4 0 0 ° C					5 0 0 ° C										
ENVASE	n	m	d	t	v	μ_{DL}	n	m	d	t	v	μ_{DL}	n	m	d	t	v	μ_{DL}	n	m	d	t	v	μ_{DL}	n	m	d	t	v	μ_{DL}		
COCA COLA (12 OZ)	1	18615	29	170	3411	03733	1	14267	26	095	6105	02159	1	17334	17	085	4000	02970	1	21999	13	080	6000	04070	1	34354	23	060	7667	04810		
	1	18615	29	165	3515	03711	2	19401	26	080	6500	02790	1	18656	19	100	3800	03410	2	28895	21	060	7000	03990	1	35211	23	060	7667	04970		
	1	21094	29	130	4461	03990	1	20258	26	075	6933	02760	1	18656	21	095	4221	03260	1	36407	24	070	6857	05851	1	38126	23	050	9200	04283		
	1	22114	17	095	6105	03730	1	20360	26	060	9667	01830	1	18998	19	090	4222	03320	2	37149	24	080	6000	06501	1	40284	23	040	11500	02325		
							1	22705	26	100	5200	04000	1	19773	22	095	4631	03455	1	37149	24	050	9600	03934								
							1	23680	23	070	6571	03410	1	20846	17	110	3090	04050		1	38894	24	070	6857	06340							
																				2	40493	21	050	8400	05060							
PEPSI COLA LARGA	1	16274	205	120	3416	02900	1	20237	22	080	5500	02990	2	22724	22	150	2933	04371	1	29831	23	100	5111	05290	1	27252	20	090	4444	04720		
	2	16274	205	100	4100	02690	2	22741	19	070	5428	03310	1	27224	205	080	5125	04430	1	29831	22	090	4889	05080	2	27252	20	075	5333	04303		
	1	20237	22	090	4888	03240	1	22741	20	070	5714	03240	2	27224	205	085	4823	04570	1	33161	23	075	6133	05220	2	30596	22	070	6285	04570		
	2	20237	22	085	5176	03130	2	24323	22	060	7333	03540	1	28468	21	060	7000	03640	2	33161	22	070	6285	05060	1	36666	22	055	8000	03450		
	1	20237	21	080	5250	03040	1	28468	22	050	8800	02490	2	28468	21	050	8400	02640	2	36505	21	060	7000	05120								
	2	22741	22	070	6285	03090	1	28468	22	055	8000	03080																				
	1	22741	22	085	5176	02590	1	34538	22	040	11000	01471																				
	2	24320	22	050	8800	01780																										
	1	24320	22	060	7333	02780																										
1	28468	22	045	9778	01680																											

TABLA A3. Valores experimentales de los coeficientes de fricción dinámica a diferentes temperaturas (dirección longitudinal de la banda)

n = número de eventos

m = masa empleada en el experimento

d = distancia recorrida por el envase

t = tiempo empleado por el envase en recorrer la distancia d

v = velocidad promedio del envase

μ_{DL} = coeficiente de fricción dinámica (dirección longitudinal)

TABLA A3. Valores experimentales de los coeficientes de fricción dinámica a diferentes temperaturas (dirección transversal de la banda)

TEMPERATURA	0 0 °C						2 0 0 °C						3 0 0 °C						4 0 0 °C						5 0 0 °C							
	ENVASE	n	m	d	t	v	μ_{er}	n	m	d	t	v	μ_{er}	n	m	d	t	v	μ_{er}	n	m	d	t	v	μ_{er}	n	m	d	t	v	μ_{er}	
GERBER	2	3454	16	125	2560	03280	1	4348	15	085	3529	03580	1	5451	16	110	2909	05305	2	5977	14	080	3500	05282	1	6736	16	075	4267	05636		
	1	3454	16	140	2285	03410	2	4348	15	075	4000	03190	1	5451	16	100	3200	05114	1	5001	16	085	3764	04200	1	6736	16	065	4923	04970		
	2	3904	16	095	3368	03290	1	4348	15	095	3157	03850	2	5451	16	140	3285	05653	2	5001	16	110	3200	04610	2	6736	16	070	4571	05330		
	1	4709	16	060	5333	02308	1	4348	15	080	3750	03400	2	5901	16	080	4000	04981	2	5551	16	065	4923	03710	1	7201	16	070	4571	05830		
	2	4709	16	070	4571	03170	1	5143	15	070	4285	03780	2	6451	16	070	4571	05031	1	6566	16	050	6400	04780	1	7201	16	050	6400	03549		
	2	5519	16	050	6400	01870	2	5148	15	060	5000	03030	1	6451	16	065	4923	04660	2	7005	14	050	5600	03920	2	7201	16	060	5333	04970		
	1						1	5373	15	060	5000	03260	1	7251	16	060	5333	05020							1	7593	16	055	5818	04750		
	2						2	5373	15	050	6000	02000	1	7251	16	045	7111	02490							1	7593	16	050	6400	03930		
	1						1	6173	15	050	6000	02800	1	4038	19	080	4750	02615							1	7593	16	045	7111	02820		

APENDICE 4. VELOCIDADES Y ACELERACIONES MAXIMAS PERMISIBLES: RESULTADOS

En el capítulo 3 se obtuvieron los modelos matemáticos que nos dan las velocidades y aceleraciones máximas permisibles. Los cálculos requeridos se efectúan empleando un programa de computadora. Los datos que se alimentan al programa son:

- a) para el cálculo de la velocidad de impacto máxima permisible, los valores promedio de los coeficientes de fricción estática a las diferentes temperaturas de interés (longitudinal y transversal)
- b) para el cálculo de la celeración máxima permisible los valores mínimos de los coeficientes de fricción dinámica (longitudinal o transversal)
- c) para la aceleración mínima permisible los valores máximos de los coeficientes de fricción dinámica (longitudinal y transversal)
- d) coeficientes de restitución duro ó blando

Los valores se calcularon para diferentes alturas del punto de impacto, desde la base al centro de masa del envase con intervalos de un centímetro. A continuación se dan las listas de los resultados obtenidos.

```

100 $RESET FREE
200 FILE 5: DATA, UNIT=DISK, BLOCKSIZE=400, RECORD=14
300 FILE 6: DESCR, UNIT=REMOTE, RECORDSIZE=135
400 C
500 C      VELOCIDAD MAXIMA PERMISIBLE Y ACPLERACION MAXIMA PERMISIBLE
600 C
700 C      LECTURA DE DATOS
800 C
900      DIMENSION U(20),TEMP(20),F(20),V(20,20),VEL(20,20),S(20)
1000     DIMENSION ATHETA(20,20),ACE(20,20),VV(20),W(20),ACE2(20,20)
1100     READ(5,/)N,M
1200     READ(5,/)RG,R,R,RR,G
1300     READ(5,/)(TEMP(I),I=1,N)
1400     READ(5,/)(U(I),I=1,N)
1500     READ(5,/)(VV(I),I=1,N)
1600     READ(5,/)(W(I),I=1,N)
1700     IF(N)10,1000,10
1800     10 WRITE(6,20)N,M
1900     20 FORMAT(14X,3H ENVASE ,215,/)
2000     WRITE(6,30)RG
2100     30 FORMAT(10X,17H RADIO DE GIRO = ,F8.3,5H CM ,)
2200     WRITE(6,40)R
2300     40 FORMAT(7X,20H RADIO DE LA BASE = ,F8.3,5H CM ,)
2400     WRITE(6,50)R
2500     50 FORMAT(27H ALTURA AL CENTRO DE MASA = ,F8.3,5H CM ,)
2600     WRITE(6,60)RR
2700     60 FORMAT(10X,16H COEF. DE REST.= ,F8.3)
2800     WRITE(6,70)
2900     70 FORMAT(/,10X,13H TEMPERATURA ,5X,23H COEF. DE FRICCION STA. ,5X,
3000     818H COEF. DE FRICCION,5X,18H COEF. DE FRICCION )
3100     WRITE(6,71)
3200     71 FORMAT(32X,11H ESTATICOS ,13X,18H PARA ACE. MAXIMA , 6X, 20H PARA
3300     8 ACE. MINIMA ,/)
3400     WRITE(6,80)(TEMP(I),U(I),VV(I),W(I),I=1,N)
3500     80 FORMAT(12X,F5.1,15X,F10.6,18X,F10.6,10X,F10.6)
3600 C
3700 C
3800     90 FORMAT(32H VELOCIDADES PERMISIBLES CM/SEG ,/)
3880     WRITE(6,100)
3890     100 FORMAT(/,48X,30H T E M P E R A T U R A S O C ,/)
3900     WRITE(6,200)
4000     200 FORMAT(1X,12H R=H-CONT ,6X,12H TEMP. AMB. ,5X,12H 1 0 0 ,7
4020     8X,12H 2 0 0 ,7X,12H 3 0 0 ,5X,12H 4 0 0 ,5X,12H 5
4030     8 0 0 ,/)
4100 C
4200     RR=RR+1.
4300     A=(B**2.)+(R**2.)
4400     BB=SQRT(A)-B
4500     CL=2.*G*RR
4600     D=B*G**2.+R**2.
4700     DD=SQRT(CC/D)
4800     CONT=0.
4900     DO 900 J=1,M
5000     F(J)=B-CONT
5100     S(J)=F(J)*F(J)
5200     DO 900 I=1,N
5300     V(J,I)=U(I)*R*CONT
5400     P=D+S(J)+V(J,I)
5500     PP=RR*F(J)
5600     IF(PP)1,1000,1
5700     1 SAA=P/PP
5800     VEL(J,I)=DD*SA
5900     DIV=F(J)/R(2.*U(I)
6000     THETA=1./DIV
6100     ATHETA(J,I)=ATAN(THETA)
6200     ATHETA(J,I)=(180.*ATHETA(J,I))/3.1416
6300     AA=(B*F(J)-1.)*VV(I)
6400     A=R/F(J)
6500     ACE(J,I)=(AA+A)*G
6600     AB=(B*F(J)-1.)*W(I)
6700     ACE2(J,I)=(AB-A)*G
6800     IF(ACE2(J,I))31,31,700
6900     31 ACE2(J,I)=ACE2(J,I)*10000000.
7000     900 CONTINUE
7100     CONT=CONT+1
7200 C
7300     800 CONTINUE
7350     WRITE(6,70)
7400     WRITE(6,300)((F(J),(VEL(J,I),I=1,N),J=1,M)
7500     300 FORMAT(7(10,4,UX))
7600     WRITE(6,500)
7700     500 FORMAT(7,20H ACPLERACION MAXIMA PERMISIBLE CM/SEG,/)
7800     WRITE(6,300)((G(J),ACE(J,I),I=1,20),J=1,3)
7900     WRITE(6,400)
8000     400 FORMAT(7,20H ACPLERACION MINIMA PERMISIBLE CM/SEG,/)
8100     WRITE(6,300)((G(J),ACE2(J,I),I=1,20),J=1,3)
8200     WRITE(6,150)
8300     150 FORMAT(7,20H RADIO MAXIMO PERMISIBLE ,/)
8400     WRITE(6,300)((G(J),R*THETA(J,I),I=1,20),J=1,3)
8500 C
8600     END

```


GRUNNING 1025

ENVASE CERVEZA ZULIA

RADIO DE GIRO = 6.640 CM
 RADIO DE LA BASE = 2.400 CM
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 8.300 CM
 COEF. DE REST. = 0.435 BILANDE

DIRECCION LONGITUDINAL

TEMPERATURA	COEF. DE FRICCION STA. ESTATICOS	COEF. DE FRICCION PARA ACEL. MAXIMA	COEF. DE FRICCION PARA ACEL. MINIMA
18.0	0.228000	0.103000	0.284000
100.0	0.4607400	0.058500	0.345000
200.0	0.438700	0.147000	0.284000
300.0	0.521700	0.117000	0.408000
400.0	0.651000	0.498000	0.447000
500.0	0.767700	0.277000	0.490000

TEMPERATURAS OC

R=B-COMT	TEMP. AMP.	1 0 0	2 0 0	3 0 0	4 0 0	5 0 0
VELOCIDADES PERMISIBLES CM/SEG						
8.3000	36.4804	36.4804	36.4804	36.4804	36.4804	36.4804
7.3000	36.2195	36.5376	36.3957	36.4657	36.5741	36.6720
6.3000	36.6054	37.4225	37.0937	37.2560	37.5072	37.7339
5.3000	38.2892	39.6035	39.0174	39.3067	39.7546	40.1588
4.3000	41.8252	43.9851	43.0218	43.4972	44.2333	44.8977
3.3000	49.0495	52.5676	50.9987	51.7730	52.9719	54.0541
2.3000	64.7734	70.8306	68.1293	69.4624	71.5267	73.3899
1.3000	108.6109	121.1136	115.5378	118.2874	122.5504	126.3961
0.3000	461.6982	523.6166	496.0030	509.6303	530.7321	549.7776

ACELERACION MAXIMA PERMISIBLE CM/SEG2

8.3000	283.6627	283.6627	283.6627	283.6627	283.6627	283.6627
7.3000	336.3621	330.3820	344.9626	338.2434	389.4436	359.7448
6.3000	405.7914	391.9329	425.7229	410.1514	528.8057	459.9800
5.3000	501.4206	474.7105	536.9587	509.1915	720.7574	578.0398
4.3000	641.5204	600.9195	699.9321	654.3042	1001.9888	600.3135
3.3000	866.5500	800.4068	961.6773	887.3591	1453.6636	1125.1773
2.3000	1207.2426	1173.3613	1451.0270	1323.0704	2298.0951	1732.5313
1.3000	2355.1546	2120.0919	2693.2223	2429.1669	4441.6662	3274.2762
0.3000	10542.4800	9378.3600	12216.7200	10908.7200	20875.6800	15094.3200

ACELERACION MINIMA PERMISIBLE CM/SEG2

8.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
7.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
6.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
5.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
4.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
3.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
2.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
1.3000	00000000	11.3192	00000000	70.4730	120.2791	230.3217
0.3000	00000000	1177.2000	00000000	344.1046	550.1146	777.2538
				2825.2800	3845.5200	4970.4000

ENVASE CERVEZA ZUTIA

RADIO DE GIRO = 6.640 CM
 RADIO DE LA BASE = 2.400 CM
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 8.300 CM
 COEF. DE REST. = 0.251 DUTO

TEMPERATURA	DIRECCION TRANSVERSAL		
	COEF. DE FRICCION STA. ESTATICOS	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MAXIMA	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MINIMA
18.0	0.222000	0.232000	0.278000
100.0	0.415600	0.150400	0.252000
200.0	0.474000	0.279000	0.439000
300.0	0.680400	0.342000	0.514000
400.0	0.574000	0.240000	0.423000
500.0	0.783000	0.493000	0.612000

TEMPERATURAS OC

R=B-CONT	TEMP. AMB.	1 0 0	2 0 0	3 0 0	4 0 0	5 0 0
VELOCIDADES PERMISIBLES CM/SEG						
8.3000	41.8344	41.8344	41.8344	41.8344	41.8344	41.8344
7.3000	41.5294	41.7155	41.7717	41.9778	41.8666	42.0628
6.3000	42.0520	42.4874	42.6175	43.0952	42.8471	43.3059
5.3000	43.8048	44.6539	44.8859	45.7376	45.2864	46.1124
4.3000	47.9244	49.1883	49.5694	50.9693	50.2276	51.5859
3.3000	56.1844	58.2431	58.8641	61.1439	59.9359	62.1499
2.3000	74.1698	77.7144	78.7836	82.7089	80.6250	84.4409
1.3000	124.3241	131.6403	133.8473	141.9496	137.6566	145.5245
0.3000	528.3353	564.5680	575.4978	615.6332	594.3527	633.3279
ACELERACION MAXIMA PERMISIBLE CM/SEG2						
8.3000	283.6627	283.6627	283.6627	283.6627	283.6627	283.6627
7.3000	353.4975	342.7318	360.0136	368.4797	354.7726	368.7716
6.3000	445.9657	420.9531	460.6029	480.2229	448.4571	527.2486
5.3000	573.0521	527.7410	599.1504	634.1332	577.4443	717.9809
4.3000	759.2484	684.7036	802.1316	859.6298	766.5480	997.4260
3.3000	1058.7909	937.0036	1128.1500	1221.7909	1070.1818	1446.2318
2.3000	1617.4704	1408.5454	1737.6476	1898.8748	1637.8435	2285.3035
1.3000	3036.5723	2605.5360	3284.8408	3617.6262	3078.8308	4415.2546
0.3000	13917.1200	11782.4640	15146.6400	16794.7200	14126.4000	20744.8800
ACELERACION MINIMA PERMISIBLE CM/SEG2						
8.3000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
7.3000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
6.3000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
5.3000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
4.3000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
3.3000	#####	#####	#####	50.5364	#####	#####
2.3000	#####	#####	99.8061	291.7409	58.8600	#####
1.3000	#####	#####	507.8562	904.0292	473.3392	#####
0.3000	#####	#####	3636.2400	5598.2400	3217.6000	8161.9200

GRUNNING 1009

ENVASE CERVEZA ZULIA

RADIO DE GIRO = 6.640 CM
 RADIO DE LA BASE = 2.400 CM
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 8.300 CM
 COEF. DE REST. = 0.251 DURO

DIRECCION LONGITUDINAL

TEMPERATURA	COEF. DE FRICCION STA. ESTATICOS	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MAXIMA	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MINIMA
18.0	0.228000	0.103000	0.284000
100.0	0.407400	0.058500	0.345000
200.0	0.438200	0.147000	0.284000
300.0	0.521700	0.117000	0.408000
400.0	0.651000	0.498000	0.447000
500.0	0.767700	0.277000	0.490000

TEMPERATURAS OC

R=B-CONT	TEMP. AMB.	1 0 0	2 0 0	3 0 0	4 0 0	5 0 0
VELOCIDADES PERMISIBLES CM/SEG						
8.3000	41.8344	41.8344	41.8344	41.8344	41.8344	41.8344
7.3000	41.5382	41.8997	41.7373	41.8176	41.9419	42.0541
6.3000	42.0694	42.9147	42.5377	42.7238	43.0118	43.2718
5.3000	43.9087	45.4159	44.7437	45.0754	45.5891	46.0527
4.3000	47.9635	50.4405	49.3358	49.8810	50.7251	51.4878
3.3000	56.2482	60.2826	58.4834	59.3713	60.7462	61.9872
2.3000	74.2797	81.2259	78.1281	79.6569	82.0241	84.1607
1.3000	124.5509	138.8885	132.4944	135.6499	140.5362	144.9464
0.3000	529.4582	600.4639	568.7977	584.4249	608.6237	630.4644
ACELERACION MAXIMA PERMISIBLE CM/SEG						
8.3000	283.6627	283.6627	283.6627	283.6627	283.6627	283.6627
7.3000	336.3621	330.3870	344.9626	338.2434	389.4436	359.7448
6.3000	405.7914	391.9329	425.7229	410.1514	528.8057	459.9009
5.3000	501.4206	476.7105	536.9587	509.1945	720.7574	598.0398
4.3000	641.5204	600.9195	699.9321	654.3042	1001.9888	800.3135
3.3000	866.5500	800.4068	961.6773	887.3591	1453.6636	1125.1773
2.3000	1287.2426	1173.3613	1451.0270	1323.0704	2298.0791	1731.5313
1.3000	2355.1546	2120.0919	2693.2223	2429.1069	4441.6662	3274.2762
0.3000	10542.4800	9378.3600	12216.7200	10908.7200	20875.6800	15094.3200
ACELERACION MINIMA PERMISIBLE CM/SEG						
8.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
7.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
6.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
5.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
4.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
3.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
2.3000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
1.3000	00000000	11.3192	00000000	00000000	00000000	00000000
0.3000	00000000	1177.2000	00000000	2025.2800	3845.5200	4970.4000

GRUNNING 1184

ENVASE COCA COLA 12 (oz)

RADIO DE GIRO = 8.310 CM
 RADIO DE LA BASE = 2.800 CM
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 9.700 CM
 COEF. DE REST. = 0.370 BIANDO

DIRECCION LONGITUDINAL

TEMPERATURA	COEF. DE FRICCION STA. ESTATICOS	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MAXIMA	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MINIMA
18.0	0.244000	0.114500	0.183000
100.0	0.240000	0.371100	0.399000
200.0	0.338000	0.180300	0.400000
300.0	0.418700	0.241000	0.405000
400.0	0.661600	0.399000	0.650000
500.0	0.711900	0.232500	0.490000

TEMPERATURAS OC

R-B-CONT TEMP. AMB. 1 0 0 2 0 0 3 0 0 4 0 0 5 0 0

VELOCIDADES PERMISIBLES CM/SEG

9.7000	1.2934	1.2934	1.2934	1.2934	1.2934	1.2934
8.7000	1.2927	1.2935	1.2949	1.2968	1.3025	1.3037
7.7000	1.3100	1.3127	1.3158	1.3201	1.3330	1.3357
6.7000	1.3562	1.3595	1.3649	1.3722	1.3946	1.3992
5.7000	1.4433	1.4485	1.4569	1.4685	1.5035	1.5107
4.7000	1.5987	1.6065	1.6194	1.6368	1.6899	1.7009
3.7000	1.8777	1.8897	1.9093	1.9359	2.0168	2.0336
2.7000	2.4170	2.4370	2.4683	2.5108	2.6402	2.6670
1.7000	3.6796	3.7144	3.7712	3.9485	4.0833	4.1320
0.7000	8.7562	8.8513	9.0066	9.2177	9.8593	9.9921

ACELERACION MAXIMA PERMISIBLE CM/SEG2

9.7000	0.2832	0.2832	0.2832	0.2832	0.2832	0.2832
8.7000	0.3204	0.3576	0.3361	0.3429	0.3607	0.3419
7.7000	0.3859	0.4513	0.4027	0.4181	0.4564	0.4160
6.7000	0.4603	0.5730	0.4892	0.5158	0.5892	0.5121
5.7000	0.5607	0.7374	0.6060	0.6478	0.7566	0.6420
4.7000	0.7039	0.9717	0.7726	0.8357	1.0000	0.8271
3.7000	0.9245	1.3327	1.0292	1.1250	1.3771	1.1122
2.7000	1.3085	1.9612	1.4297	1.6303	2.0321	1.6087
1.7000	2.1444	3.3289	2.4481	2.7283	3.4577	2.6891
0.7000	5.3682	8.6046	6.1981	6.9637	8.9565	6.8565

ACELERACION MINIMA PERMISIBLE CM/SEG2

9.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.7000	0.0000	1.1085	1.1211	1.1842	4.2744	2.2563

ENVASE COCA COLA 12 (oz)

RADIO DE GIRO = 8.310 CM
 RADIO DE LA BASE = 2.800 CM
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 9.700 CM
 COEF. DE REST. = 0.259 DURO

TEMPERATURA	DIRECCION LONGITUDINAL			
	COEF. DE FRICCION STA. ESTATICOS	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MAXIMA	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MINIMA	
18.0	0.244000	0.114500	0.183600	
100.0	0.280000	0.371100	0.399000	
200.0	0.338800	0.180300	0.400000	
300.0	0.418700	0.241000	0.405000	
400.0	0.661600	0.399000	0.650000	
500.0	0.711900	0.232500	0.490000	

TEMPERATURAS OC

R-B-COMT	TEMP. AMD.	1 0 0	2 0 0	3 0 0	4 0 0	5 0 0
VELOCIDADES PERMISIBLES CM/SEG						
9.7000	44.4765	44.4965	44.4965	44.4965	44.4965	44.4965
8.7000	44.4706	44.4998	44.5476	44.6125	44.8079	44.8507
7.7000	45.0936	45.1597	45.2676	45.4143	45.8602	45.9526
6.7000	46.6561	46.7700	46.9561	47.2089	47.9777	48.1369
5.7000	49.6525	49.8310	50.1227	50.5190	51.7238	51.9733
4.7000	54.9981	55.2688	55.7110	56.3117	58.1381	58.5163
3.7000	64.5978	65.0104	65.6044	66.6002	69.3842	69.9607
2.7000	83.1782	83.8379	84.9154	86.3795	90.8305	91.7922
1.7000	126.5876	127.7850	129.7407	132.3983	140.4774	142.1584
0.7000	301.2360	304.5075	309.8509	317.1117	339.1850	343.7560

ACELERACION MAXIMA PERMISIBLE CM/SEG2

9.7000	283.1753	283.1753	283.1753	283.1753	283.1753	283.1753
8.7000	328.6350	357.5689	336.0545	342.8990	360.7146	341.9405
7.7000	305.9025	451.2855	402.6686	410.1353	458.3945	415.9695
6.7000	460.2647	572.9772	489.1676	515.8303	585.2324	512.0968
5.7000	560.7189	737.3678	606.0171	647.8042	756.5747	641.9526
4.7000	703.9197	971.7118	772.5897	835.9372	1000.8287	827.0265
3.7000	924.5362	1332.7283	1029.2016	1125.7638	1377.1119	1112.3419
2.7000	1300.5450	1961.1643	1475.8963	1630.2767	2032.1233	1608.6583
1.7000	2144.3506	3328.9369	2448.1144	2728.3341	3457.7365	2689.0941
0.7000	5368.1721	8604.6313	6198.0981	6963.6986	8956.5300	6856.4893

ACELERACION MINIMA PERMISIBLE CM/SEG2

9.7000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
8.7000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
7.7000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
6.7000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
5.7000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
4.7000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	93.9255	0.00000000
3.7000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	291.6486	37.1109
2.7000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	12.7167	228.9000
1.7000	0.00000000	206.2971	230.8235	253.9059	1384.9412	646.3059
0.7000	0.00000000	1108.5300	1121.1429	1184.2071	4274.3571	2256.3090

R
BRUNNING 0882

ENVASE COCA COLA 12 (08)

RADIO DE GIRO = 0.310 CM
 RADIO DE LA BASE = 2.000 CM
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 9.700 CM
 COEF. DE REST. = 0.259 DURO

TEMPERATURA	COEF. DE FRICCIÓN STA. ESTÁTICOS	DIRECCIÓN TRANSVERSAL	
		COEF. DE FRICCIÓN PARA ACE. MÁXIMA	COEF. DE FRICCIÓN PARA ACE. MÍNIMA
18.0	0.240000	0.114900	0.183000
100.0	0.222500	0.186000	0.273000
200.0	0.359100	0.202200	0.355000
300.0	0.404500	0.278000	0.374000
400.0	0.698600	0.313700	0.500000
500.0	0.831900	0.484000	0.560000

TEMPERATURAS OC

R=B-CONT	TEMP. AMB.	1 0 0	2 0 0	3 0 0	4 0 0	5 0 0
VELOCIDADES PERMISIBLES CM/SEG						
9.7000	44.4965	44.4965	44.4965	44.4965	44.4965	44.4965
8.7000	44.4673	44.4531	44.5641	44.6010	44.8397	44.9482
7.7000	45.0862	45.0541	45.3049	45.3882	45.9282	46.1729
6.7000	46.6434	46.5880	47.0203	47.1640	48.0948	48.5166
5.7000	49.6326	49.5458	50.2234	50.4486	51.9073	52.5685
4.7000	54.9681	54.8365	55.8636	56.2050	58.4163	59.4186
3.7000	64.5520	64.3514	65.9170	66.4374	69.8083	71.3361
2.7000	83.1049	82.7842	85.2873	86.1193	91.5085	93.9511
1.7000	126.4546	125.8725	130.4159	131.9260	141.7081	146.1418
ACELERACION MÁXIMA PERMISIBLE CM/SEG²						
9.7000	283.1753	283.1753	283.1753	283.1753	283.1753	283.1753
8.7000	320.6801	336.6772	338.5239	347.0710	351.1191	370.2993
7.7000	386.0044	404.1210	408.2409	427.5631	436.7106	480.0530
6.7000	460.4404	491.6713	498.7873	532.0827	547.8519	622.5690
5.7000	560.9743	609.9411	621.0735	673.2758	697.9901	815.0990
4.7000	704.3371	778.5383	795.4449	874.5511	912.0169	1089.5362
3.7000	925.1625	1038.2692	1064.0403	1184.6238	1241.7339	1512.3608
2.7000	1309.5633	1490.3933	1531.5953	1724.3000	1815.6857	2248.3067
1.7000	2146.1972	2474.4282	2549.2151	2899.1435	3064.8748	3850.1365
ACELERACION MÍNIMA PERMISIBLE CM/SEG²						
9.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.7000	0.0000	0.0000	23.0824	110.7953	672.4706	769.4588

R
 RUNNING 0877

ENVASE COCA COLA 12 (ca)

RADIO DE GIRO = 0.310 CM
 RADIO DE LA BASE = 2.000 CM
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 9.700 CM
 COEF. DE REST. = 0.370 EL/UNDO

DIRECCION TRANSVERSAL

TEMPERATURA	COEF. DE FRICCION STA. ESTATICOS	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MAXIMA	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MINIMA
18.0	0.240000	0.114900	0.183000
100.0	0.222500	0.186000	0.273800
200.0	0.359100	0.202200	0.355000
300.0	0.404500	0.278000	0.374000
400.0	0.498600	0.313900	0.500000
500.0	0.831900	0.484000	0.580000

TEMPERATURAS OC

R-B-CONT	TEMP. ANB.	1 0 0	2 0 0	3 0 0	4 0 0	5 0 0
VELOCIDADES PERMISIBLES CM/SEG						
9.7000	40.9100	40.9100	40.9100	40.9100	40.9100	40.9100
8.7000	40.8832	40.8701	40.9722	41.0061	41.2257	41.3253
7.7000	41.4522	41.4227	41.6532	41.7299	42.2263	42.4515
6.7000	42.8839	42.8320	43.2304	43.3825	44.2183	44.6061
5.7000	45.6322	45.5524	46.1753	46.3823	47.7235	48.3314
4.7000	50.5376	50.4166	51.3609	51.6748	53.7079	54.6294
3.7000	59.3490	59.1646	60.6040	61.0824	64.1816	65.5863
2.7000	76.4065	76.1117	78.4130	79.1779	84.1327	86.3785
1.7000	116.2621	115.7270	119.9042	121.2926	130.2862	134.3625

ACELERACION MAXIMA PERMISIBLE CM/SEG²

9.7000	283.1753	283.1753	283.1753	283.1753	283.1753	283.1753
8.7000	328.6801	336.6972	338.5219	347.0710	351.1191	370.2993
7.7000	386.0044	404.1210	408.2489	427.5631	436.7106	480.0530
6.7000	460.4404	491.6713	498.7873	532.0827	547.8519	622.5690
5.7000	560.9943	609.9411	621.0935	673.2758	697.9901	815.0905
4.7000	704.3371	776.5383	795.4449	874.5511	912.0169	1089.5362
3.7000	925.1625	1038.2692	1064.0403	1184.6238	1241.7339	1512.3308
2.7000	1309.5623	1490.3933	1531.5953	1724.3800	1815.6857	2248.3067
1.7000	2146.1972	2474.4282	2549.2151	2899.1435	3064.0748	3850.1365

ACELERACION MINIMA PERMISIBLE CM/SEG²

9.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.7000	0.0000	0.0000	23.0324	110.7953	692.4706	969.4508

GRUNNING 1117

ENVASE PETSI COLA LARGA

RADIO DE GIRO = 7.160 CM
 RADIO DE LA BASE = 2.800 CM
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 11.000 CM
 COEF. DE REST. = 0.396 BLANDO

TEMPERATURA	COEF. DE FRICCION STA. ESTATICOS	DIRECCION TRANSVERSAL	
		COEF. DE FRICCION PARA ACEL. MAXIMA	COEF. DE FRICCION PARA ACEL. MINIMA
18.0	0.244000	0.124000	0.232000
100.0	0.216000	0.166000	0.242000
200.0	0.365000	0.192000	0.375000
300.0	0.473000	0.282000	0.424000
400.0	0.671000	0.248000	0.560000
500.0	0.650000	0.518000	0.776000

TEMPERATURAS OC

R-B-CONT	TEMP. AMB.	1 0 0	2 0 0	3 0 0	4 0 0	5 0 0
VELOCIDADES PERMISIBLES CM/SEG						
11.0000	40.0218	40.0218	40.0218	40.0218	40.0218	40.0218
10.0000	39.0578	39.0386	39.1406	39.2145	39.3501	39.3357
9.0000	38.4228	38.3803	38.6069	38.7711	39.0723	39.0403
8.0000	38.2402	38.1484	38.5508	38.8280	39.3361	39.2822
7.0000	38.7038	38.5943	39.1770	39.5994	40.3738	40.2917
6.0000	40.1367	39.9770	40.8268	41.4428	42.5721	42.4523
5.0000	43.1205	42.8905	44.1143	45.0013	46.6274	46.4550
4.0000	48.8184	48.4830	50.2676	51.5611	53.9326	53.6811
3.0000	59.9443	59.4333	62.1527	64.1238	67.7375	67.3543
2.0000	84.6406	83.7783	88.3673	91.6935	97.7917	97.1449
1.0000	163.6182	161.7019	171.0996	179.2913	192.8428	191.4055

ACELERACION MAXIMA PERMISIBLE CM/SEG2

11.0000	249.7091	249.7091	249.7091	249.7091	249.7091	249.7091
10.0000	286.8444	290.9646	293.5152	302.3442	299.0088	325.4958
9.0000	332.2320	341.3880	347.0560	366.6760	359.2640	418.1240
8.0000	388.9665	404.4173	413.7820	447.0708	434.5630	533.9093
7.0000	461.9109	485.4549	500.0297	550.4811	531.4217	683.7760
6.0000	559.1700	593.5050	614.7600	688.3350	660.5400	881.2650
5.0000	695.3328	744.7752	775.3824	881.3304	841.3556	1159.1496
4.0000	899.5770	971.6805	1016.3160	1170.8235	1112.4054	1575.9765
3.0000	1239.9040	1349.0560	1417.8720	1653.3120	1564.3600	2270.6600
2.0000	1920.7980	2106.2070	2220.9840	2618.2690	2468.1960	3660.1110
1.0000	3963.2400	4375.2600	4630.3200	5513.2200	5179.6800	7828.3800

ACELERACION MINIMA PERMISIBLE CM/SEG2

11.0000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
10.0000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
9.0000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
8.0000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
7.0000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
6.0000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	-0.0357	176.5800
5.0000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	109.8720	364.1472
4.0000	0000000000	0000000000	0000000000	41.2020	274.6800	645.4980
3.0000	0000000000	0000000000	65.4000	193.5840	549.3600	1114.4160
2.0000	0000000000	0000000000	282.0375	498.3480	1098.7200	2052.8850
1.0000	0000000000	0000000000	931.9500	1412.6400	2746.8000	4855.7600

ENVASE PEPSI COLA LARGA

RADIO DE GIRO = 7.160 CM
 RADIO DE LA BASE = 2.800 CM
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 11.000 CM
 COEF. DE REST. = 0.224 DURO

DIRECCION LONGITUDINAL

TEMPERATURA	COEF. DE FRICCION STA. ESTATICOS	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MAXIMA	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MINIMA
18.0	0.236000	0.046000	0.187000
100.0	0.306000	0.168000	0.324000
200.0	0.331000	0.249000	0.354000
300.0	0.450000	0.260000	0.457000
400.0	0.520000	0.506000	0.522000
500.0	0.604000	0.346000	0.472000

TEMPERATURAS OC

R=9-COMT	TEMP. ANP.	1 0 0	2 0 0	3 0 0	4 0 0	5 0 0
VELOCIDADES PERMISIBLES CM/SEG						
11.0000	45.5713	45.5713	45.5713	45.5713	45.5713	45.5713
10.0000	44.4674	44.5220	44.5415	44.6342	44.6887	44.7542
9.0000	43.7368	43.8500	43.9013	44.1074	44.2286	44.3741
8.0000	43.5193	43.7239	43.7970	44.1447	44.3493	44.5948
7.0000	44.0349	44.3467	44.4580	44.9879	45.2997	45.6727
6.0000	45.6502	46.1048	46.2672	47.0400	47.4946	48.0401
5.0000	49.0249	49.6795	49.9133	51.0262	51.6808	52.4663
4.0000	55.4785	56.4332	56.7741	58.3971	59.3517	60.4973
3.0000	68.0901	69.5448	70.0644	72.5374	73.9921	75.7378
2.0000	96.0965	98.5514	99.4281	103.6014	106.0562	109.0020
1.0000	185.6825	191.1377	193.0860	202.3599	207.8151	214.3613

ACELERACION MAXIMA PERMISIBLE CM/SEG2						
11.0000	249.7091	249.7091	249.7091	249.7091	249.7091	249.7091
10.0000	279.1926	291.1608	299.1069	300.1860	324.3186	308.6226
9.0000	315.2280	341.8240	359.4820	361.8800	415.5080	380.6280
8.0000	360.2723	405.1530	434.9509	438.9975	529.4948	470.6348
7.0000	418.1863	486.5760	531.9823	538.1486	676.0491	586.3577
6.0000	495.4050	595.1400	661.3575	670.3500	871.4050	740.6550
5.0000	603.5112	747.1294	842.4828	855.4320	1145.0232	956.6712
4.0000	765.6705	975.1140	1114.1708	1133.0550	1555.3755	1280.6955
3.0000	1035.9360	1355.0880	1566.9840	1595.7600	2239.2960	1820.7360
2.0000	1576.4670	2115.0360	2472.6105	2521.1700	3607.1370	2900.8170
1.0000	3198.0600	4394.8800	5189.4900	5297.4000	7710.6600	6141.0500

ACELERACION MINIMA PERMISIBLE CM/SEG.						
11.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
10.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
9.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
8.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
7.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
6.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
5.0000	#####	#####	#####	#####	65.1304	6.2761
4.0000	#####	#####	#####	97.8547	209.4435	123.6060
3.0000	#####	#####	10.4640	279.9120	449.9520	319.1520
2.0000	#####	56.8980	189.3330	644.0265	930.9690	710.7440
1.0000	#####	431.6400	725.9400	1736.3700	2374.0200	1883.5200

ENVASE PEPSI COLA LARGA

RADIO DE GIRO = 7.160 CM
 RADIO DE LA BASE = 2.800 CM
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 11.000 CM
 COEF. DE REST. = 0.394 BLANDO

TEMPERATURA	DIRECCION LONGITUDINAL		
	COEF. DE FRICCION STA. ESTATICOS	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MAXIMA	COEF. DE FRICCION PARA ACE. MINIMA
18.0	0.236000	0.046000	0.187000
100.0	0.304000	0.168000	0.324000
200.0	0.331000	0.249000	0.354000
300.0	0.450000	0.260000	0.457000
400.0	0.520000	0.506000	0.522000
500.0	0.604000	0.346000	0.472000

TEMPERATURAS OC

R-B-COMT	TEMP. AMB.	1 0 0	2 0 0	3 0 0	4 0 0	5 0 0
VELOCIDADES PERMISIBLES CM/SEG						
11.0000	40.0218	40.0218	40.0218	40.0218	40.0218	40.0218
10.0000	39.0523	39.1002	39.1174	39.1988	39.2467	39.3042
9.0000	38.4107	38.5171	38.5552	38.7362	38.8424	38.9704
8.0000	38.2197	38.3994	38.4635	38.7489	38.9484	39.1642
7.0000	38.6725	38.9463	39.0441	39.5095	39.7832	40.1118
6.0000	40.0911	40.4903	40.6329	41.3116	41.7109	42.1909
5.0000	43.0548	43.6297	43.8350	44.8124	45.3873	46.0772
4.0000	48.7225	49.5609	49.8604	51.2857	52.1241	53.1302
3.0000	59.7903	61.0759	61.5322	63.7041	64.9814	66.5147
2.0000	84.3942	86.5502	87.3201	90.9852	93.1411	95.7282
1.0000	143.0707	167.8616	169.5726	177.7172	182.5081	188.2572

ACELERACION MAXIMA PERMISIBLE CM/SEG2						
11.0000	249.7091	249.7091	249.7091	249.7091	249.7091	249.7091
10.0000	279.1926	291.1608	299.1069	300.1860	324.3186	308.6226
9.0000	315.2280	341.8240	359.4820	361.8900	415.5060	380.6280
8.0000	360.2723	405.1530	434.9509	438.9975	529.4948	470.6348
7.0000	418.1863	486.5760	531.9823	538.1486	676.0491	586.3577
6.0000	495.4050	595.1400	661.3575	670.3500	871.4550	740.6550
5.0000	603.5112	747.1296	842.4028	855.4320	1145.0232	956.6712
4.0000	765.6705	975.1140	1114.1708	1133.0550	1555.3755	1280.6955
3.0000	1035.9360	1355.0880	1566.9840	1595.7600	2239.2960	1820.7360
2.0000	1576.4670	2115.0360	2472.6105	2521.1700	3607.1370	2900.8170
1.0000	3198.0600	4394.8800	5189.4700	5297.4000	7710.6600	6141.0600

ACELERACION MINIMA PERMISIBLE CM/SEG2						
11.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
10.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
9.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
8.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
7.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
6.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
5.0000	#####	#####	#####	#####	#####	#####
4.0000	#####	#####	#####	#####	65.1384	6.2784
3.0000	#####	#####	#####	#####	97.8517	123.6060
2.0000	#####	#####	#####	#####	10.4640	209.4435
1.0000	#####	#####	#####	#####	279.9120	319.1520
		52.0980	189.3330	644.0265	930.9690	710.2440
		431.6400	725.9400	1736.3700	2374.0200	1843.5200

APENDICE 5. SIMULACIONES

Son los resultados completos de la tabla 5.7

NOMENCLATURA

V_{emp}	=	velocidad del brazo empujador
X_{emp}	=	distancia recorrida por el brazo empujador
WP	=	aceleración angular del envase
OMEGA	=	velocidad angular del envase
$X2P$	=	aceleración del punto de contacto (P ó H)
XP	=	velocidad del punto de contacto (P ó H)
X	=	desplazamiento del punto de contacto (P ó H)
AGX	=	aceleración del centro de masa del envase en dirección X
VGX	=	velocidad del centro de masa del envase en dirección X
XGX	=	desplazamiento del centro de masa del envase dirección X
AGY	=	aceleración del centro de masa en dirección Y
VGY	=	velocidad del centro de masa en dirección Y
XGY	=	desplazamiento del centro de masa en dirección Y
NOR	=	normal
VQX	=	velocidad del punto de impacto

ENVASE PEPSI COLA LARGA

RADIO DE GIRO = 7.160
 RADIO DE LA BASE = 2.40
 ALTURA AL CENTRO DE MASA = 11.000
 COEFICIENTE DE RESTITUCION = 0.220
 COEFICIENTE DE FRICCION ESTADICA = 0.650
 COEFICIENTE DE FRICCION DINAMICA = 0.600

CONSTANTES PARA LA TRAYECTORIA DEL BRAZO EMPUJADOR

VELOCIDAD ANGULAR DEL REDUCTOR = 2.40
 RELACION DE DEFASAMIENTO = 0.000
 MAGNITUD DE LA MANIVELA = 15.00
 MAGNITUD DE LA BIELA = 32.000
 ALTURA ENTRE EL CENTRO DE GIRO Y CORREDERA = 10.40
 ANCHO DEL BRAZO EMPUJADOR = 3.00
 TIEMPO DEFASADO DEL R. EMP = 0.400

CONDICIONES INICIALES

WU=3.50359051340, VGX0=21.5603134164, VGY0=10.1604120491, YXA=46.3960004521, IIMAX=2.70642643035,
 VUX0=50.604210551, XPO=60.107000064, IIMAX=0.257771142249,

PARTE

ROLL

IIMAX=0.62220345207,

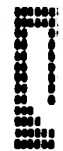
TIEMPO	WUP	XUP	YU	OMEGA	TUETA	X2F	XU	X	VGX
0.0000	16.7069	0.0000	-101.4600	3.5036	0.0000	-1416.2190	60.1070	0.0000	51.6042
0.0062	46.7000	0.3000	-107.4634	2.8515	1.1339	-1506.4646	51.0070	0.3000	40.1193
0.0124	47.1651	0.5023	-113.6054	2.1400	2.0234	-1618.0836	40.9463	0.6316	30.7410
0.0187	47.5219	0.8769	-118.3578	1.8097	2.6513	-1705.3025	30.1538	0.8052	20.6857

TIEMPO	AGX	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	FUF	XUF	
0.0000	-379.1580	21.5603	0.0000	-436.7307	10.1604	0.0000	65.5250	0.0000	-0.0000
0.0062	-347.0470	14.6400	0.1303	-401.0809	8.2694	0.0570	701.3854	0.0303	0.0198
0.0124	-375.1446	17.3721	0.2930	-355.7500	6.5302	0.1042	731.7518	0.0134	0.0353
0.0187	-307.1373	14.0074	0.3021	-319.1045	4.9051	0.1017	754.5537	-0.0740	0.0463

SELENE

CONDICIONES INICIALES

IMPACT=2,
 WU=3.70054017540, VGX0=20.048625111, VGY0=7.6122265147, XPO=65.335625272, XPO=0.10522673021, XPO=0.00023333870,
 VUX0=52.5014325714, XPO=65.335625272, VPY0=-1.05514152204E-11, CORTEL=0.0463000002301,



PACTE

POLE

THAX=0.66903481093,

THETA	VFHP	VFHP	HP	OMEGA	THETA	XZF	XP	X	VGX
0.0187	47.5219	0.0769	-107.6984	3.2035	2.6513	-1538.8612	65.3356	0.9992	52.4014
THETA	AGX	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	FOE	XPI	
0.0187	-365.5839	25.6490	0.4921	-371.6935	7.6622	0.1417	685.7709	-0.0029	0.1852

SELFIE

CONDITIONS INITIALES

IMPACT=3,

W0=2.8270884662, VFX0=26.208519072, VGY0=6.7512684359, Xp0=57.734733799, XNS=0.185226736921, X1=1.1022333873,

VUX0=0.0263959423, YI0=57.734733799, VGY0=-2.91638304568E-11, CONTACT=0.185226736921,

PACTE

POLE

THAX=0.66973203868,

THETA	VFHP	VFHP	HP	OMEGA	THETA	XZF	XP	X	VGX
0.0187	47.5219	0.0769	-110.8913	2.9271	2.6513	-1500.5644	57.7347	1.1052	46.0264
0.0248	47.8534	1.1477	-115.6230	2.1300	3.5191	-1667.5001	47.7925	1.4712	30.2222
0.0319	48.1667	1.5604	-120.3583	1.4002	4.1362	-1773.0824	37.1050	1.7292	31.0384
THETA	AGX	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	FOE	XPI	
0.0187	-376.3881	26.2089	0.6421	-353.6865	6.7513	0.1417	706.0377	0.0071	0.1852
0.0248	-392.0039	24.6357	0.7256	-326.0602	5.1909	0.1774	731.2305	0.0075	0.2460
0.0319	-415.1593	21.5144	0.9341	-289.8679	3.5978	0.2054	758.4855	-0.0205	0.2843

SELFIE

CONDITIONS INITIALES

IMPACT=4,

W0=2.72345760091, VFX0=32.2501174421, VGY0=5.7175453683, Xp0=62.744258789, XNS=0.289262418903, X1=1.07110713107,

VUX0=0.0088207502, YI0=62.744258789, VGY0=1.45519152284E-11, CONTACT=0.289262418903,

PARTE

COLI

THAX=0.6452181892,

TIEMPO	VEMP	XEMP	YMP	OMEGA	THETA	X2P	XP	X	VGX
0.0379	48.1667	1.4604	-113.3924	2.7230	4.1362	-1648.2313	62.7043	1.8792	51.8088
0.0373	48.1780	1.7722	-118.3573	1.9755	5.0058	-1728.4626	51.7488	3.2089	43.8704
0.0438	48.7682	2.0860	-122.9296	1.1863	5.5886	-1812.3053	40.1041	2.5444	35.3163
0.0572	49.0368	2.4015	-125.4269	0.3733	5.8725	-1869.3794	27.4555	2.7619	26.0168

TIEMPO	AGX	VGX	XGX	AGY	VGX	XGY	PUM	XPF	
0.0379	-396.0187	32.2501	1.0841	-320.9688	5.7175	0.2054	713.2624	0.1295	0.2893
0.0373	-413.3583	28.7120	1.2840	-292.0696	4.1466	0.2369	740.5132	0.1263	0.3504
0.0438	-436.8457	26.8873	1.4662	-252.0230	2.7514	0.2594	766.6705	0.0671	0.3914
0.0572	-451.0721	23.8990	1.6291	-229.2131	1.4512	0.2750	777.4312	-0.0510	0.4118

SEIENE

CONDICIONES INICIALES

IMPACT=5,

WU=2.18832788123, V_{GXC}=39.1314171096, V_{GYO}=3.8096073044, X_{PO}=62.726603544, X_{LS}=0.411419008826, X_O=2.91193209619,
 V_{UXO}=51.9726920193, Y_{PO}=07.726003544, V_{PYO}=0.0, C_{ON}T_AC=0.411419008826,

PARTE

COLI

THAX=0.63027970615,

TIEMPO	VEMP	XEMP	YMP	OMEGA	THETA	X2P	XP	X	VGX
0.0572	49.0368	2.4015	-119.0424	2.1883	5.8725	-1760.1387	62.7260	2.9119	51.9727
0.0565	49.0381	2.7113	-123.0238	1.1214	6.5256	-1824.1026	51.4174	3.2716	45.7002
0.0628	49.0992	3.0226	-126.0936	0.6320	6.8958	-1891.4490	39.5416	3.5570	37.8841
0.0691	49.6968	3.3353	-127.0220	-0.1728	6.9763	-1900.9497	27.4347	3.7677	28.1001

TIEMPO	AGX	VGX	XGX	AGY	VGX	XGY	PUM	XPF	
0.0572	-430.6474	38.1313	1.7791	-263.2543	3.8500	0.2750	730.6436	0.0490	0.4114
0.0565	-445.0504	35.4056	2.0109	-239.2493	2.5064	0.2950	764.3811	0.1030	0.4576
0.0628	-462.0998	32.4685	2.2245	-210.1670	1.3115	0.3076	778.9472	0.0515	0.4838
0.0691	-469.6346	29.4967	2.4190	-198.2756	0.1707	0.3133	782.5110	-0.0570	0.4895

SEIENE

CONDICIONES INICIALES



IMPACT=6,

NU=1.57385363650, VGX=42.92515900, VLY=2.42765500551, XPO=60.723733915, XLS=0.489456045587, XC=3.91767573684,
VUXU=54.4283193607, YPO=60.723733915, VPYU=2.91034304568E-11, CONTACT=0.489456045587,

PAGE

POLI

THAX=0.59473487968,

TIMEP	VENP	XEMP	YP	OMEGA	THETA	X2P	XP	Y	VGY
0.0691	49.6948	3.3353	-123.5302	1.5739	6.9763	-1845.9851	60.7237	3.9177	50.4283
0.0751	49.8683	3.6313	-126.1788	0.8326	7.3864	-1847.3335	49.6082	4.2459	44.2750
0.0810	50.0120	3.9283	-127.5548	0.0717	7.5395	-1915.6983	38.1791	4.5066	37.0788
0.0876	50.1398	4.2262	-127.0160	-0.6883	7.4334	-1909.5370	26.7274	4.6091	29.0776

TIMEP	AGX	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	YUP	XPI	VGY
0.0691	-457.5227	47.9852	2.5690	-218.4622	2.4277	0.3133	762.5028	0.0930	0.4895
0.0751	-467.1915	46.2462	2.8165	-202.3474	1.2813	0.3244	774.6167	0.0960	0.5185
0.0810	-476.6912	37.3867	3.0472	-186.5147	0.2319	0.3292	780.7918	0.0488	0.5204
0.0876	-476.2880	30.5184	3.2685	-187.1866	-6.8109	0.3278	780.5660	-0.0490	0.5219

SELFIE

CONDITIONS INITIALS

IMPACT=7,

NU=0.28689877988, VGX=47.4850167259, VLY=1.43290215736, XPO=58.625379412, XLS=0.521880261707, XC=4.84908895852,
VUXU=50.6794002934, YPO=58.625379412, VPYU=1.45519152284E-11, CONTACT=0.521880261707,

PAGE

POLI

THAX=0.45022577837,

TIMEP	VENP	XEMP	YP	OMEGA	THETA	X2P	XP	Y	VGY
0.0876	50.1398	4.2262	-126.1863	0.9805	7.4334	-1804.2903	58.6254	4.8491	50.6744
0.0925	50.2462	4.5222	-127.4369	0.2080	7.6305	-1915.2131	48.1545	5.1429	46.0778
0.0989	50.3232	4.7790	-127.6493	-0.4150	7.6139	-1918.8008	37.5289	5.3783	39.0910
0.1035	50.3885	5.0561	-125.9602	-1.1138	7.3727	-1893.0980	27.0394	5.5560	31.5083

TIMEP	AGX	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	YUP	XPI	VGY
0.0876	-472.6434	47.4852	3.4100	-194.2593	1.4329	0.3270	774.4998	0.1010	0.5219
0.0925	-476.0323	44.1854	3.6649	-186.1128	0.3183	0.3320	784.0455	0.1040	0.5362
0.0989	-479.2987	42.2288	3.9345	-182.1689	-0.5486	0.3327	780.2314	0.0646	0.5387
0.1035	-477.1111	39.6151	4.1297	-182.4810	-1.5431	0.3269	774.5843	-0.0177	0.5176

SELFIE

CONDITIONES INICIALES

IMPACT=0,

WU=0.415048397786, VUXU=51.520736355, VGYU=0.60782567366, XPU=56.202977664, XIS=0.51757147744, XU=5.7059698744,

VUXU=54.5427846729, YPU=56.202977664, VPYU=1.6370904632E-11, CONTAC=0.51757147744,

MAIT

POI 1

THAX=0.497296210776,

TIMEPO	VEMP	XEMP	BP	OMEGA	THETA	X2P	XP	X	VGX
0.1235	50.3885	5.0651	-127.2962	0.4150	7.3727	-1911.3814	56.2030	5.7060	54.5428
0.1235	50.3326	5.3091	-127.4763	-0.2224	7.4003	-1914.2664	46.6309	5.6631	47.5198
0.1135	50.4619	5.0604	-126.9260	-0.3580	7.2454	-1898.9205	37.0842	6.1723	40.5227
0.1185	50.4765	5.8127	-124.1091	-1.4833	6.9104	-1860.1421	27.7342	6.3346	33.6920
0.1235	50.4760	6.0651	-120.7027	-2.0982	6.4011	-1799.8156	18.7441	6.4521	27.1613
TIMEPO	AGX	VGX	AGX	AGY	VGY	AGY	TOP	XPF	
0.1235	-475.5812	51.5207	4.2797	-188.3647	0.6078	0.3269	784.1109	0.1323	0.5176
0.1235	-476.2542	49.1396	4.5313	-187.2431	-0.3257	0.3276	785.2205	0.1354	0.5195
0.1135	-477.8798	46.7644	4.7711	-192.3670	-1.2496	0.3237	779.0160	0.1034	0.5085
0.1185	-462.7128	44.4615	4.0993	-209.8120	-2.2198	0.3147	765.7885	0.0371	0.4848
0.1235	-446.4117	42.2939	5.2160	-230.9895	-3.2890	0.2990	746.1931	-0.0617	0.4487

SELFIE

CONDITIONES INICIALES

IMPACT=0,

WU=-0.215038228702, VUYU=57.178667981, VGYU=-0.357332487150, XPU=54.7488652321, XIS=0.448748804031, XU=6.6021339607,

VUXU=55.612210140, YPU=54.7488652321, VPYU=1.6370904632E-11, CONTAC=0.448748804031,

MAIT

POI 1

THAX=0.4414976730933,

TIMEPO	VEMP	XEMP	BP	OMEGA	THETA	X2P	XP	X	VGX
0.1235	50.4760	6.0651	-126.4721	-0.2150	6.4011	-1885.9893	54.7488	6.6021	55.6122
0.1235	50.4606	6.3175	-125.5001	-0.3462	6.2988	-1870.3852	45.3503	6.8523	48.7388



0.1335	50.4761	6.5667	-123.2527	-1.4673	5.9174	-1832.4250	36.1107	7.2561	42.0041
0.1385	50.3845	6.8217	-119.8114	-2.0710	5.4118	-1773.0518	27.2215	7.2151	39.5481
0.1435	50.3236	7.0735	-115.3458	-2.6497	4.7399	-1695.9170	17.8048	7.3323	29.8859
TIEMPO	AGX	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	FOF	XPI	
0.1235	-462.6564	57.1781	5.3668	-209.0060	-0.3573	0.2998	783.2329	0.0883	0.4487
0.1285	-460.1086	56.8745	5.4170	-215.8328	-1.4010	0.3554	777.2133	0.0969	0.4380
0.1335	-449.4237	56.6288	5.9157	-231.0604	-2.4667	0.2856	764.2400	0.0718	0.4146
0.1385	-433.8366	56.5030	6.1739	-257.2390	-3.6047	0.2190	745.0416	0.0144	0.3789
0.1435	-413.3075	48.5531	6.4225	-292.1542	-4.8591	0.2470	720.5285	-0.0729	0.3317

SELECC

CONDICIONES INICIALES

IMPACT=10,
 W0=-0.99570674510, V0X0=67.082606, V0Y0=-1.97201075000, X0=50.9286823914, X0S=0.331667339020, X0I=7.4822507333,
 VUX0=54.9115603715, Y0C=50.9286823914, VFY0=-2.9103304568E-11, C0P1AC=0.331667339024,

PARTE

FOI

IMAX=0.300590439553,

TIEMPO	VEMP	XEMP	YEMP	OMEGA	THETA	X2P	X1	Y	VGX
0.1435	50.3236	7.0735	-123.2059	-0.9957	4.7399	-1813.6757	50.9287	7.4823	50.9115
0.1485	50.2476	7.3250	-120.9881	-1.6065	4.3669	-1777.1962	41.5446	7.7144	48.3800
0.1535	50.1562	7.5769	-117.3672	-3.1992	3.8221	-1714.1630	33.2456	7.9026	42.1223
0.1585	50.0496	7.8265	-112.7075	-2.7666	3.1131	-1633.4931	25.1270	8.0458	36.2562
0.1635	49.9277	8.0761	-107.3626	-3.3070	2.2505	-1538.7062	17.5619	8.1556	30.8805
TIEMPO	AGX	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	FOF	XPI	
0.1435	-435.3853	67.0826	6.5725	-255.1912	-1.9726	0.2470	771.5009	0.0771	0.3317
0.1485	-427.4968	59.9808	6.8775	-268.5153	-3.1827	0.2341	757.3372	0.0839	0.3055
0.1535	-411.5612	57.9154	7.1723	-285.0646	-4.4446	0.2148	737.2377	0.0554	0.2672
0.1585	-391.2164	56.0662	7.4577	-328.2726	-5.7984	0.1883	712.1300	0.0058	0.2175
0.1635	-367.6241	54.4201	7.7352	-368.2931	-7.2752	0.1535	683.1308	-0.0740	0.1572

SELECC

CONDICIONES INICIALES

IMPACT=11,
 W0=-0.81959623796, V0X0=67.031220011, V0Y0=-0.4867854218, X0=46.8238877440, X0S=0.157193824032, X0I=0.3096327849,
 VUX0=0.102275977, Y0C=46.8238877449, VFY0=0.0, C0P1AC=0.157193824032,

PARTE

COLI

TMAX=0.147803926523,

TIEMPO	VEMP	XEMP	HP	OMEGA	THETA	X2P	XP	X	VGX
0.1635	49.9277	8.0764	-116.8390	-1.8106	2.2505	-1683.0555	46.8239	0.3096	50.1023
0.1685	49.7904	8.3257	-113.5013	-2.3950	1.6463	-1628.7539	38.5388	0.8229	48.1381
0.1735	49.6379	8.5743	-108.7434	-2.9461	0.8817	-1544.7174	30.7402	0.6965	42.5674
0.1785	49.4701	8.8221	-103.3438	-3.4650	-0.0330	-1448.2229	23.5422	0.6338	37.0813

TIEMPO	AGX	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	HOR	XPF	
0.1635	-393.6766	67.0312	7.8852	-324.9724	-4.4868	0.1535	746.5907	0.0760	0.1572
0.1685	-382.4306	65.1450	8.2150	-343.0157	-5.9076	0.1275	725.2631	0.0822	0.1150
0.1735	-362.3901	63.4274	8.5372	-377.3165	-7.3862	0.0939	699.4521	0.0696	0.0616
0.1785	-339.7456	61.9203	8.8511	-414.7573	-8.9794	0.0514	670.2381	0.0140	-0.0023

CONDICIONES INICIALES

DEIMOS

WU=-5.2 182802968, VGYD=15.0853812861, VGXC=47.4814753655, HPO=-9.7386324609, I=0=14.7837749688, VGXC=-4.53680493135,

COLUS

OMAX= 1.257771142210,

CISSE

TYD=0.130685127418,

INC=0.1130685127410,

TIEMPO	VEMP	XEMP	HP	OMEGA	THETA	X2P	HP	H	VGX
0.1785	49.4701	8.8221	-62.3748	-5.2018	0.0000	-1283.1360	-9.7386	14.7838	-4.5368
0.1915	48.9599	9.4654	-53.8628	-5.9613	4.1862	-1143.3271	-25.5921	14.5500	-10.4806

TIEMPO	AGY	VGX	XGY	AGY	VGY	XGY	HOR	DIR	
0.1785	-513.5426	47.3815	9.0811	-116.7624	15.0853	0.0000	864.2376	0.1617	
0.1915	-447.7800	39.9817	9.5729	-234.7000	17.2876	0.2110	746.3000	-0.6090	

CONDICIONES INICIALES

SII-10

WU=-0.053990254112, VGXC=69.610714856, VGYD=0.94840693137, HPO=14.7000229521, VGXC=64.126791595, XGYC=9.721992411,

COLUS

ORAX= 0.257771182299,

CIFSE

TYW=0.0416031373079,

INC=0.005,

TIMEPO	VPMF	XPM	MP	MPGA	TIMEA	B2P	MP	H	VUX
0.1915	00.9599	9.4654	-108.0612	-0.4539	0.1862	-1930.9494	63.9346	14.7000	64.120P
TIMEPO	AGY	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	HOP	DFE	
0.1915	-723.4315	69.6167	9.7220	224.7191	0.2484	0.2119	1205.7191	-0.5090	

CONDITIONS INITIALS

SIFIO

WU=1.61913662160, VGX0=67.243385396, VGY0=3.3828240006, H0=13.8509229522, VUX0=45.023165568P, XGX0=0.2719924111,

FOROS

ORAX= 0.257771182299,

CIFSE

TYW=0.055291104733,

INC=0.0055291104733,

TIMEPO	VPMF	XPM	MP	MPGA	TIMEA	B2P	MP	H	VUX
0.1915	00.9599	9.4654	-105.6622	-1.6191	0.1862	-1890.4941	44.9376	14.8500	45.0232
TIMEPO	AGY	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	HOP	DFE	
0.1915	-703.4652	63.9434	0.8720	191.4420	3.382P	0.2119	1172.4420	-0.3590	

CONDITIONS INITIALS

SIFIO

WU=1.16279342000, VGX0=64.250197078, VGY0=0.94725290738, H0=15.0009229522, VUX0=49.6939632042, XGX0=10.0219024111,

FOROS

ORAX= 0.257771182299,

CIFSE

TYW=0.051957600518,

INC=0.0519876545519,

TIMEPO	VEHP	XEMP	WP	OMEGA	THETA	H2P	HP	H	VIX
0.1915	48.9599	9.4654	-106.6112	-1.3624	4.1862	-1905.8274	49.1170	15.0000	49.694
TIMEPO	AGX	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	HOP	DIR	
0.1915	-709.7435	64.3562	10.0220	201.9725	2.8473	0.2119	1182.9725	-0.2490	

CONDICIONES INICIALES

SIC10

WU=-1.41918892509, VCX0=64.967379132, VGY0=2.96507877699, H0=15.1509229522, VIX0=48.7983877905, XGX0=10.1719924111,

FOP05

OMAX= 0.257771142249,

CIPSE

TYU=0.052700208461,

INC=0.0527002688009,

TIMEPO	VEHP	XEMP	WP	OMEGA	THETA	H2P	HP	H	VIX
0.1915	48.9599	9.4654	-106.4165	-1.4192	4.1862	-1902.6806	48.1975	15.1500	48.7984
TIMEPO	AGY	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	HOP	DIR	
0.1915	-709.8867	64.0674	10.1720	199.8111	2.9651	0.2119	1180.8111	-0.2490	

CONDICIONES INICIALES

SIC10

WU=-1.41478191411, VCX0=64.130919256, VGY0=2.93915719431, H0=15.3009229522, VIX0=48.9954144005, XGX0=10.3219924112,

FOP05

OMAX= 0.257771142249,

CIPSE

TYU=0.0525428080516,

INC=0.0525428080516,

TIMEPO	VEHP	XEMP	WP	OMEGA	THETA	H2P	HP	H	VIX
0.1915	48.9599	9.4654	-106.4609	-1.4068	4.1862	-1903.3839	48.3000	15.3000	48.9954

0.1968	48.7257	0.7229	-104.1457	-1.9604	7.6934	-1845.9911	38.4021	15.5291	39.359
0.2021	48.4750	0.9779	-102.8387	-2.5190	5.3710	-1833.2246	28.0206	15.7048	29.053
TIMEP	AGY	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	HOC	DIR	
0.1915	-708.7765	64.1309	10.3220	208.2941	2.9392	0.2114	1181.2941	0.0510	
0.1968	-693.3685	63.4158	10.6492	174.6142	4.0958	0.2300	1155.6142	0.0265	
0.2021	-668.7606	60.6156	10.9572	133.6010	5.1527	0.2545	1114.6010	-0.0071	

CONDICIONES INICIALES

SIFIO

WU=-1.08025916906, VGX0=64.13093591, VGY0=2.0141380374, HD=15.854819427, VUXI=52.5710430666, XGX0=11.1072251557,

FOROS

UMAX=-0.257771142290,

CLSG

TYW=0.522987201821,

INC=0.522987201822,

TIMEP	VGY	XGY	HD	UMEGA	TIMEA	H2P	HD	H	VUX
0.2021	48.4750	0.9779	-111.8121	-1.0743	5.3710	-1962.3740	51.9832	15.8448	52.5710
0.2073	48.2293	10.2367	-102.7462	-1.6640	5.7430	-1924.1175	41.8013	16.1000	42.7380
0.2125	47.9274	10.7816	-108.1303	-2.2447	6.3712	-1893.8388	31.7008	16.2017	33.0654
0.2177	47.6297	10.7315	-105.9619	-2.8280	7.1403	-1845.9953	21.7135	16.4300	23.0252
TIMEP	AGY	VGX	XGX	AGY	VGY	XGY	HOC	DIR	
0.2021	-705.3650	64.1524	11.1972	194.5098	2.0141	0.2545	1175.5098	0.1020	
0.2073	-692.2718	63.4765	11.4331	172.7914	3.0910	0.2670	1153.7914	0.0093	
0.2125	-669.9098	60.9987	11.7401	135.5163	4.0761	0.2864	1116.5163	0.0050	
0.2177	-649.2258	57.5835	12.0293	86.0424	4.9113	0.3091	1007.0424	-0.0466	

CONDICIONES INICIALES

SIFIO

WU=-1.05311994087, VGYI=62.97002772, VGX0=1.43942331854, HD=16.579950156, VUXI=52.9106490235, XGX0=12.1793456855,

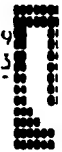
FOROS

UMAX=-0.257771142290,

CLSG

TYW=0.5581116499,

INC=0.5581116499,



TIEMPO	VEMP	XEHP	WP	OMEGA	THETA	H2P	HP	H	VOX
0.2177	47.6297	10.7315	-117.7304	-0.9531	7.1403	-2017.2343	52.2235	16.5909	52.910
0.2233	47.2741	10.9967	-115.4494	-1.6052	7.5502	-1981.3835	41.0409	16.8004	42.230
0.2289	46.9099	11.2609	-113.0954	-2.2534	8.1704	-1934.8370	30.0186	17.0386	31.821
0.2345	46.5793	11.5213	-109.9436	-2.8977	9.0039	-1871.2477	19.2303	17.1749	21.779

TIEMPO	AGY	VGX	XGX	AGY	VCY	XGY	HUP	DIR
0.2177	-689.1339	62.9701	12.1793	167.5563	1.8398	0.3091	1148.5563	0.0730
0.2233	-675.7821	59.1393	12.5205	145.3035	2.4241	0.3199	1126.3035	0.0940
0.2289	-651.2704	55.4394	12.8407	104.3673	3.2982	0.3357	1085.3673	0.0370
0.2345	-617.9040	51.9517	13.1415	48.8401	3.9815	0.3549	1029.8401	-0.0740

CONDICIONES INICIALES

SIEM

WU=-0.93669353512, VGX0=61.775722587, VCY0=1.07041245913, H0=17.3249329933, VOX0=52.0201775055, XGYC=13.29147981,

FOROS

OMAX=0.25777112249,

CISSE

TYH=0.060554774002,

THI=0.060554774002,

TIEMPO	VEMP	XEHP	WP	OMEGA	THETA	H2P	HP	H	VOX
0.2345	46.5793	11.5213	-122.3909	-0.9367	9.0039	-2052.9157	51.1739	17.3249	52.0242
0.2401	46.1493	11.8021	-119.6762	-1.6704	9.4566	-2009.3570	38.8626	17.5970	40.4329
0.2466	45.7096	12.0882	-116.3513	-2.3938	10.1643	-1947.1310	26.8262	17.7459	29.2377
0.2527	45.2487	12.3556	-111.9030	-3.1039	11.1269	-1862.0554	15.2063	17.9223	18.6366

TIEMPO	AGY	VGX	XGX	AGY	VCY	XGY	HUP	DIR
0.2345	-660.5649	61.7757	13.2915	120.9015	1.0704	0.3549	1110.9415	0.0751
0.2401	-651.7098	57.7682	13.6534	105.1746	1.9088	0.3634	1086.1746	0.0742
0.2466	-623.1852	53.9332	13.9918	57.6420	2.6052	0.3773	1038.6420	0.0967
0.2527	-584.3737	49.3926	14.3086	-7.0439	3.0497	0.3827	973.0561	-0.1243

CONDICIONES INICIALES

SIEM

WU=-0.97356963877, VGX0=61.866917009, VCY0=0.7935481058, H0=18.072251837, VOX0=51.103323919, XGY0=10.0516153205,

FOROS

OMAX=0.25777112249,



CIRSE

TYN=0.66145631482,

INC=0.66145631482,

TIMEPO	VEHF	XFHF	WF	ORGA	TRIA	EP	IP	II	VIX
0.2527	45.2457	12.3556	-126.0602	-1.9736	11.1260	-2068.6343	59.4136	18.0723	51.1033
0.2583	44.7210	12.6532	-122.6934	-1.7973	11.0527	-2015.0535	36.4911	18.3581	58.5793
0.2659	44.1793	12.9472	-118.1220	-1.6013	12.4890	-1932.2502	23.4163	18.5550	26.6604

TIMEPO	AGY	VGX	XGY	AGY	VGY	XGY	DDP	DFR
0.2527	-636.8634	61.9664	14.7586	80.3391	0.7036	0.3927	1061.3301	0.0257
0.2583	-610.7953	56.2957	14.8407	51.6631	1.2076	0.3493	1032.0931	0.0245
0.2659	-586.5136	52.9597	15.2123	-3.8107	1.7103	0.4087	977.1803	-0.0520

CONDITIONS INITIALES

SIC10

W0=-1.19073120400, v0x0=60.07400585, v0y0=0.538928054383, W0=18.7050423584, v0x0=48.0330042097, v0y0=15.3622590115,

FORUS

OMAX=-.257771182249,

CIRSE

TYN=0.71444305865,

INC=0.71444305865,

TIMEPO	VEHF	XFHF	WF	ORGA	TRIA	EP	IP	II	VIX
0.2659	44.1793	12.9472	-126.9830	-1.1907	12.4890	-2057.4518	46.5400	18.7050	48.0335
0.2730	43.5666	13.2667	-122.6602	-1.0837	13.1663	-1987.0305	32.0670	18.0865	54.7928
0.2802	42.9343	13.5697	-118.6508	-0.9455	14.1928	-1881.1040	18.2660	18.1660	22.4250

TIMEPO	AGY	VGX	XGY	AGY	VGY	XGY	DDP	DFR
0.2659	-613.4130	62.0740	15.3623	41.3565	0.5389	0.4087	1022.3565	0.0260
0.2730	-592.2856	56.7750	15.7750	0.1427	0.9831	0.4140	987.1427	0.0781
0.2802	-569.7680	51.7545	16.1664	-61.3533	1.0990	0.4205	919.6067	-0.0267

CONDITIONS INITIALES

SIC10

W0=-1.20532100101, v0x0=60.034614815, v0y0=0.147084781165, W0=19.3155801451, v0x0=47.441401360, v0y0=16.3103741803,

FORUS

OMAX= 0.257771142249,

CIFSC

TY4=0.76423382015,

INC=0.76423382015,

TIMEPO	VEHF	XEPF	EP	OMEGA	TIMEIA	IP2P	EP	II	VIX
0.25777	42.9303	13.5697	-127.8696	-1.2853	14.192P	-2040.8445	45.6136	19.3160	47.4415
TIMEPO	AGY	VGX	XCY	AGY	VGY	XGY	BUR	DUR	
0.25777	-586.1232	60.2346	16.3194	-3.1603	0.1471	0.4205	976.0397	0.1233	

REFERENCIAS

1. R. Chicurel, A. Alonso; "Determinación de Especificaciones Técnicas para mejorar un empujador de envases". Informe, I.I.
2. E. Chicurel, M Navarrete; "Regresiones por minimización de la integral del **error relativo**". Congreso de la ANIAÇ, IV .

BIBLIOGRAFIA

1. Jack R. Britton; "University Mathematics"
W.H. Freesman and Company
2. Earl. D. Raninville; "Ecuaciones Diferenciales"
Ed. trillas
3. T. C. Huang.; "Dinámica"
R.S. de Ingeniería
4. T. C. Organick; "Fortran 1V"
Ed. Fondo de cultura Interamericana

