

01173
2
205.

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Facultad de Ingeniería

DISEÑO Y MANUFACTURA DE LEVAS POR COMPUTADORA

Miguel Angel Cruz Morales

TESIS

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE

POSGRADO DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA

DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

COMO REQUISITO PARA OBTENER

EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA

(MECANICA: DISEÑO Y MANUFACTURA)

CIUDAD UNIVERSITARIA

JUNIO 1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

CONTENIDO

NOMENCLATURA.

INTRODUCCION.	1
1. LEVAS Y SEGUIDORES.	3
1.1 Introducción	3
1.2 Definición de una leva.	3
1.3 Clasificación de levas y seguidores.	4
1.4 Aplicaciones de levas.	7
2. DIAGRAMAS DE DESPLAZAMIENTO DE LEVAS.	10
2.1 Introducción.	10
2.2 Diagramas de desplazamientos.	10
2.3 Derivadas del diagrama de desplazamientos.	12
2.4 Movimientos estándar de las levas.	15
2.5 Igualación de las derivadas de los diagramas de desplazamiento.	16
2.6 Ejemplo de aplicación.	28
3. SINTESIS DE LEVAS.	33
3.1 Introducción.	33
3.2 Nomenclatura de las levas.	34
3.3 Síntesis del perfil de levas.	35
3.4 Consideraciones prácticas en la síntesis de levas.	39
3.4 Ejemplo de aplicación.	45
4. MANUFACTURA DE LEVAS.	49
4.1 Introducción.	49
4.2 Métodos de fabricación de levas.	49
4.3 Control Numérico.	52
4.4 Cálculo de trayectorias y generación de código de control numérico para levas.	70
4.5 Ejemplo de aplicación.	71

5. SISTEMA DIMALEV.	79
5.1 Introducción.	79
5.2 Diseño de mecanismos por computadora.	79
5.3 Estructura del sistema DIMALEV.	82
5.4 Módulo de diagrama de desplazamientos.	85
5.5 Módulo de diseño de perfiles.	86
5.6 Módulo de manufactura.	88
5.7 Módulo de graficación.	93
5.8 Ejemplo de aplicación.	96
CONCLUSIONES.	110
BIBLIOGRAFIA.	111

NOMENCLATURA

- θ : Posición angular de la leva.
 $f(\theta)$: Posición del seguidor (diagrama de desplazamientos).
 $f'(\theta)$: Primera derivada del diagrama de desplazamiento con respecto a θ .
 $f''(\theta)$: Segunda derivada del diagrama de desplazamiento con respecto a θ .
 $f'''(\theta)$: Tercera derivada del diagrama de desplazamiento con respecto a θ .
 ω : Velocidad angular de la leva.
 α : Aceleración angular de la leva.
 κ : Tercera derivada de la posición angular con respecto del tiempo.
 V : Velocidad del seguidor.
 A : Aceleración del seguidor.
 T : Tercera derivada de la posición del seguidor con respecto del tiempo.
 R : Desplazamiento del seguidor desde el centro de giro de la leva.
 r_a : Radio del círculo primario.
 r_r : Radio del seguidor de carretilla.
 r_b : Radio de base de la leva.
 L : Elevación del seguidor.
 ϕ : Angulo de presión.
 ϕ_m : Angulo de presión máximo.
 l : Longitud de contacto en una leva de cara plana.
 x : Coordenada en la dirección horizontal del punto de contacto de la leva y el seguidor.
 y : Coordenada en la dirección vertical del punto de contacto de la leva y el seguidor.
 c : Distancia entre centros.
 β_n : Angulo de rotación de la n-ésima curva del diagrama de desplazamientos.
 t_n : Tiempo de la n-ésima curva del diagrama de desplazamientos.

INTRODUCCION

El análisis, diseño y manufactura de mecanismos por computadora es una tecnología novedosa que se sustenta en los conocimientos de la ingeniería mecánica y la computación. Esta actividad conjunta ambas áreas del conocimiento, para desarrollar sistemas capaces de brindar soluciones a las necesidades que se presentan en el desarrollo total de un producto o de una máquina.

En ingeniería mecánica existen teorías desarrolladas que ofrecen una sólida base para llevar acabo el diseño, análisis y fabricación de mecanismos, en especial los mecanismos leva-seguidor, en tanto que en computación existe el área de graficación por computadora con la cual es posible realizar la graficación de información numérica a una gran velocidad y precisión.

En el presente trabajo se conjuntan ambas áreas para el caso específico del diseño y manufactura de levas de placa, por medio de computadora, con el fin de generar un sistema que permita automatizar esta tarea en forma eficiente, efectuar el proceso de diseño cuidando detalles que perjudiquen el producto final y realizar la manufactura en menos tiempo que los procesos actuales, finalmente contar con los conocimientos necesarios para entender y poder generar programas de cómputo aplicables a diferentes ambitos dentro del marco del diseño y manufactura en ingeniería mecánica.

En base a los objetivos anteriores, esta tesis se divide en cinco capítulos, de los cuales el primero consiste en dar una definición y descripción de los tipos de levas y sus aplicaciones. Se establece también que el tipo de leva a diseñar y fabricar en este trabajo es la del tipo de disco o placa con seguidores de carretilla y cara plana con movimiento de translación o rotación.

En el segundo capítulo, se realiza un estudio de las características del diagrama de desplazamientos de los seguidores y se emplea el método de Klooomok y Muffley para el diseño de dichos diagramas, ilustrandose el método con un ejemplo.

En el tercer capítulo, se hace una descripción de la síntesis de levas y se presentan algunos de los problemas a los que uno se

puede enfrentar en el diseño de perfiles de levas. Asimismo, se destaca la importancia de los métodos analíticos en la síntesis de levas y algunas consideraciones de los parámetros que se deben de tomar en cuenta en este proceso. El capítulo finaliza con un ejemplo de aplicación.

En el cuarto capítulo, se discuten los diferentes métodos de fabricación de levas y se dedica mayor atención al control numérico como el método más idóneo para la fabricación de levas maestras y prototipos. Se da una visión global de la programación del código de control numérico y del cálculo de las trayectorias de la herramienta para la fabricación de una leva. De nuevo el capítulo se ilustra con un ejemplo.

En el último capítulo, se describe la estructura, características y funcionamiento del programa DYMALÉV, el cual conjunta lo vertido en los capítulos anteriores y efectúa el diseño y manufactura de levas por computadora.

Finalmente se presentan las conclusiones y bibliografía de esta tesis.

CAPITULO 1

LEVAS Y SEGUIDORES

1.1 INTRODUCCION.

Un mecanismo es una combinación de cuerpos rígidos conectados de tal forma que se mueven uno sobre otro con un movimiento relativo definido. De la gran variedad de clasificaciones que existen; la más común es aquella basada en la naturaleza de sus uniones. Si el acoplamiento que une los dos elementos se lleva a cabo por medio de una superficie, tal como en un buje, manguillos, etcétera, la unión se denomina par inferior. Si la unión ocurre por medio de un punto o una recta tal como en un balero o entre dos dientes de un engrane en contacto, se le conoce como par superior.

Los mecanismos más comúnmente utilizados en ingeniería mecánica, que contienen pares superiores, se encuentran dentro de dos tipos generales: levas y engranes.

En la mayoría de aplicaciones se usan engranes para transmitir movimiento de una flecha a otra, con una relación de velocidad angular constante, aunque algunos engranes no circulares se pueden utilizar para una transmisión no uniforme del movimiento.

Cuando se requiere transformar un movimiento uniforme del elemento de entrada en un movimiento no uniforme y periódico del elemento de salida, se utiliza un sistema leva-seguidor.

1.2 DEFINICION DE UNA LEVA.

En forma general podemos definir una leva, como un elemento mecánico que sirve para impulsar a otro elemento llamado seguidor para que desarrolle un movimiento periódico, por contacto directo.

Para los fines del presente trabajo, podemos definir la leva como un cuerpo rígido que tiene una forma determinada, que cuando gira alrededor de un eje le imprime a otro cuerpo rígido, llamado seguidor, un movimiento periódico, ya sea de rotación o de translación, con respecto a un marco fijo.

1.3 CLASIFICACION DE LEVAS Y SEGUIDORES.

La gran variedad de sistemas leva-seguidor, da origen también a una gran variedad de perfiles y formas, y a la necesidad de cierta terminología para distinguirlos.

Los sistemas leva-seguidor pueden ser clasificados de varias maneras [1] [2], pero la clasificación mas general es aquella que se basa en la forma de la leva, pudiendo tener levas bidimensionales o planas, por ejemplo: levas de disco o placa y levas de cuña, fig. 1.1 a y b, levas tridimensionales, por ejemplo, levas cilíndricas, levas de cara y levas globoidales, figura 1.1 c, d y e. De estos tipos de levas la menos común de ellas en aplicaciones prácticas es la leva de cuña, debido a que necesita un movimiento alternativo de entrada, en lugar de un movimiento continuo y la más común de todas es la leva de disco o placa [3]. Por está razón este trabajo se centrará específicamente en las levas de placa, aunque los conceptos presentados se aplican a todos los tipos.

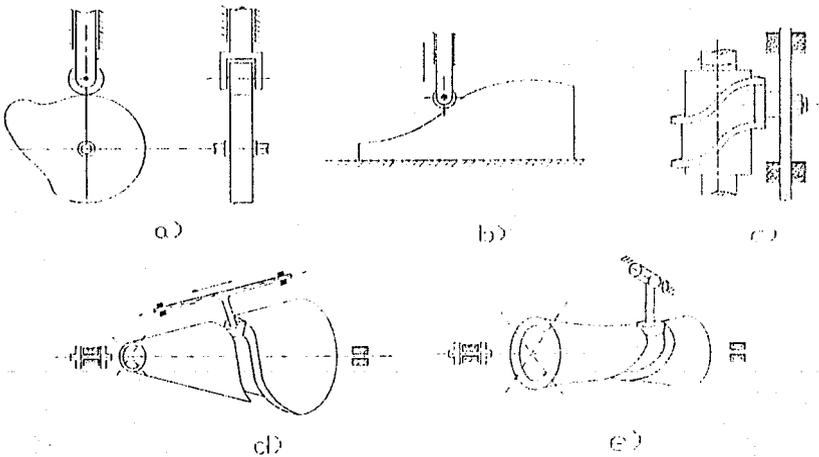


Fig. 1.1 Tipos de levas.

De acuerdo a los seguidores de las levas de placa, éstos se clasifican en seguidor de punta, seguidor de carretilla y seguidor de cara plana, con movimiento alternativo y oscilatorio, figura 1.2.

De estos tipos de seguidores, el de punta presenta la desventaja que ocasiona desgaste excesivo, por lo que su uso queda restringido a los casos en que la carga es pequeña. Los seguidores de cara plana y de carretilla ocasionan menos desgaste, pero requieren más espacio.

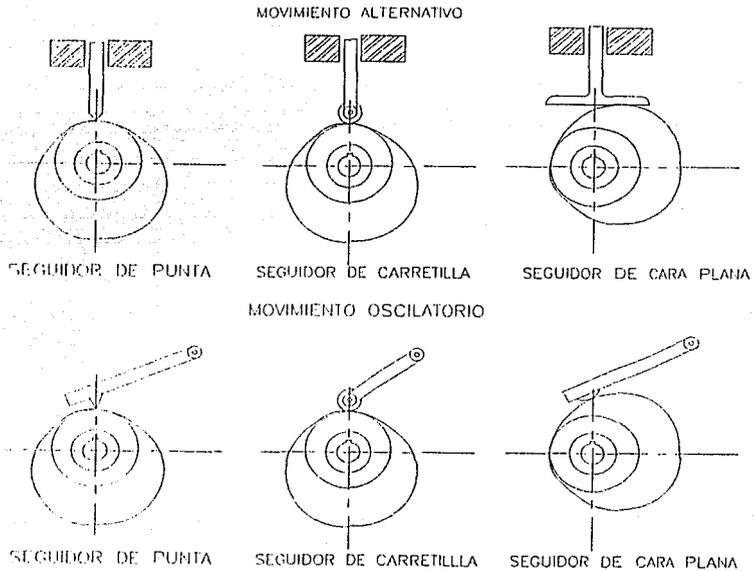


Fig. 1.2 Tipos de seguidores.

Además, una subdivisión posterior de los seguidores de movimiento de translación se basa en el hecho de si la línea central del vástago del seguidor pasa por el centro de giro de la leva se denomina radial, figura 1.3(a), o excéntrica, cuando la línea del eje del vástago no coincide con el centro de giro de la leva, esta se presenta en la figura 1.3(b).

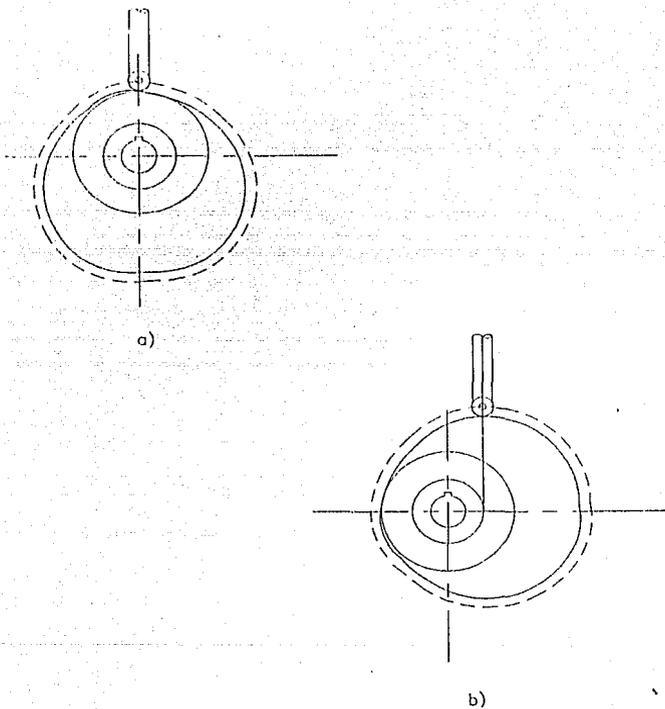


Fig. 1.3 Leva radial y excéntrica.

1.4 APLICACIONES DE LEVAS.

Los mecanismos leva-seguidor son sencillos y poco costosos, tienen pocas piezas móviles y ocupan espacios reducidos. Además, no son difíciles de diseñar movimientos del seguidor que tengan casi cualquier característica periódica deseada. Por estas razones, los mecanismos de leva se emplean profusamente en la maquinaria moderna.

Un ejemplo de aplicación de este tipo de mecanismo lo podemos encontrar en máquinas de roscar [4], las cuales son esencialmente un pequeño torno revólver automático, diseñado para trabajar material en barra, con la torre principal montada en un plano vertical. Pueden montarse en el carro transversal portaherramientas frontal y trasero. Todos los movimientos de la torre, carro transversal, husillo, plato y mecanismo de avance del material son controlados por levas de disco, de tal modo que toda la operación de maquinado es automática, ver figuras 1.4 y 1.5 parte inferior.

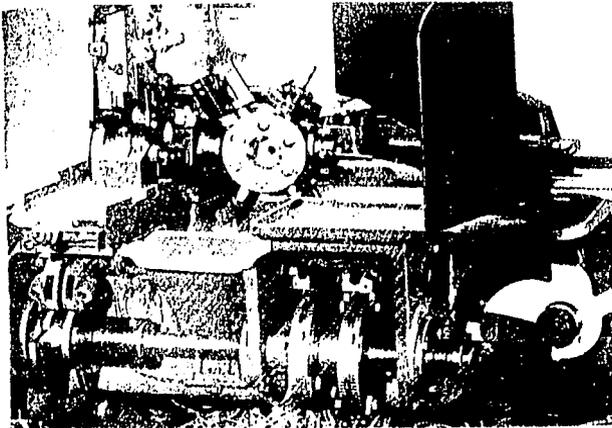


Fig. 1.4 Máquina de roscar Brown and Sharpe.

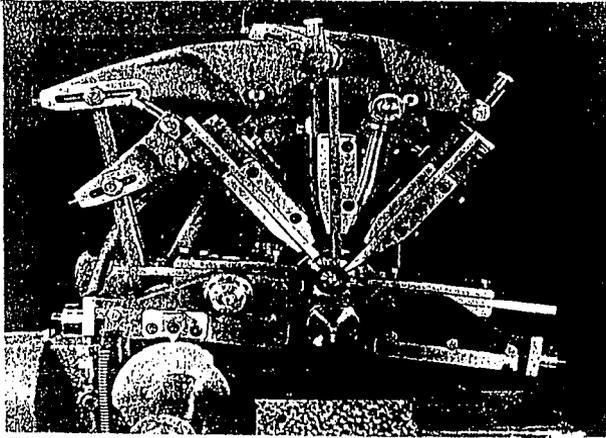


Fig. 1.5 Máquina de roscar tipo suizo.

Otra aplicación de levas, la podemos encontrar en el mecanismo de impresión de hojas metálicas como el de la figura 1.6, el cual es usado para el estampado de hojas de metal, por medio de los punzones accionados por levas.

Otros ejemplos de aplicación de mecanismos de levas se pueden encontrar en las válvulas de las máquinas de combustión interna, en maquinaria para fabricar zapatos, en maquinaria para bocardar, en relojes, en cerraduras, etc. Es difícil encontrar una máquina del tipo automática que no emplee uno o más mecanismos de levas.

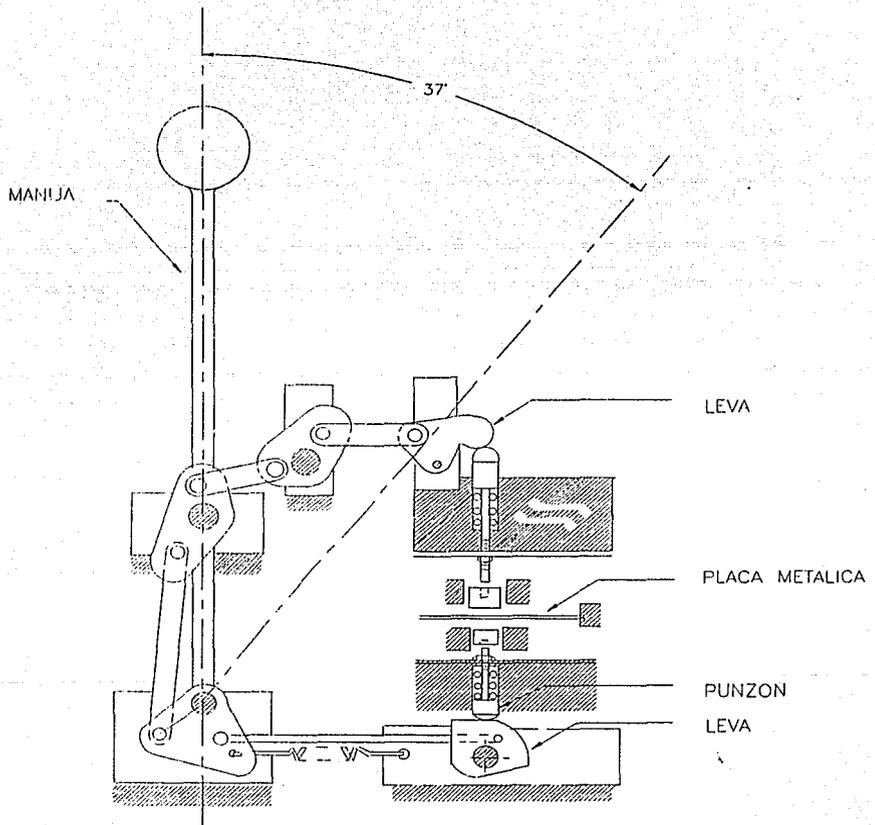


Fig. 1.6 Mecanismo de impresión.

CAPITULO 2

DIAGRAMAS DE DESPLAZAMIENTOS DE LEVAS

2.1 INTRODUCCION.

A pesar de la gran diversidad de tipos de levas, éstas poseen ciertas características comunes que permiten seguir un enfoque sistemático para su diseño. Este se puede realizar de dos maneras [5]:

- a) Suponer la forma de la leva y determinar las características del desplazamiento, velocidad y aceleración que dé este contorno.
- b) Suponer el movimiento requerido para el seguidor y diseñar la leva que proporcione este movimiento.

Un mecanismo de leva que se obtiene a partir del movimiento deseado, es una aplicación del proceso de síntesis. Sin embargo, puede ser difícil fabricar la leva después de haber sido propuesto su programa de movimiento. La dificultad de manufactura se elimina si la leva se hace simétrica y para fabricar el perfil de la leva se emplean formas que se puedan generar fácilmente en máquinas herramienta. Un ejemplo de aplicación para este tipo de leva es el que se emplea en los automóviles.

En este trabajo solamente se tratará la síntesis de levas para un movimiento especificado.

2.2 DIAGRAMAS DE DESPLAZAMIENTOS.

Con el objeto de investigar el proceso de síntesis de levas en general, el movimiento de la leva se denotará por θ y el movimiento del seguidor por $f(\theta)$. Para los diferentes tipos de levas, θ y $f(\theta)$, tienen diferentes significados físicos, por ejemplo $f(\theta)$ es una distancia para un seguidor de movimiento alternativo y un ángulo para un seguidor oscilante, en tanto que θ es para el caso de una leva de disco un ángulo.

El movimiento de la leva θ y el movimiento del seguidor se grafican normalmente en un diagrama, como el que se muestra en la figura 2.1, este diagrama representa físicamente el movimiento que imparte la leva al seguidor y recibe el nombre de Diagrama de

Desplazamientos.

En un diagrama de desplazamientos se identifican en forma general varias secciones que representan, por ejemplo, una subida, en la que el movimiento del seguidor es hacia afuera del centro de la leva, ver figura 2.1. La subida máxima se llama elevación. Los periodos durante los cuales el seguidor se encuentra en reposo se conocen como detenciones y el retorno es el periodo en que el movimiento del seguidor es hacia el centro de la leva.

Muchas de las características esenciales en un diagrama de desplazamientos, por ejemplo, la elevación total y la duración de las detenciones, por lo común son dictadas por las necesidades de la aplicación. Sin embargo, hay muchos movimientos posibles para el seguidor que se pueden usar para la subida y el retorno, y algunos son preferibles a otros, dependiendo de la aplicación. Uno de los pasos clave en el diseño de una leva es la elección de las formas apropiadas para estos movimientos.

El diagrama de desplazamientos contiene la naturaleza exacta del perfil de la leva final, la información necesaria para su trazado, fabricación, así como la calidad de su comportamiento dinámico.

El diagrama de desplazamientos es, por tanto, una gráfica que representa alguna función matemática que relaciona los movimientos de entrada y de salida del sistema de leva-seguidor. En términos generales, esta relación es

$$f=f(\theta) \quad (2.1)$$

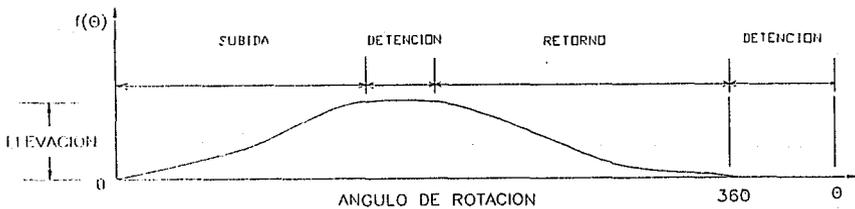


Fig. 2.1 Diagrama de desplazamientos.

2.3 DERIVADAS DEL DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTOS.

La selección del diagrama de desplazamientos para levas de alta velocidad no debe estar basado solamente en el desplazamiento, también deben considerarse las fuerzas que se originan en el sistema como resultado del movimiento elegido. Durante años, las levas se concretaron a mover un seguidor una distancia determinada durante un cierto tiempo. Las velocidades eran bajas, de manera que las fuerzas de aceleración no eran importantes. Sin embargo, con la tendencia a mayores velocidades en las máquinas, ha sido necesario tener en cuenta las características dinámicas del sistema y seleccionar un perfil de la leva que minimice la carga.

El efecto de la carga dinámica está muy relacionado con la segunda derivada del diagrama de desplazamiento, por lo cual es necesario analizar las derivadas del diagrama de desplazamiento.

Inicialmente se pueden calcular las derivadas de $f(\theta)$ con respecto a θ . La primera derivada se denotará por f' ,

$$f'(\theta) = \frac{df}{d\theta} \quad (2.2)$$

Esta expresión representa la pendiente del diagrama de desplazamientos en cada valor del ángulo θ . Aunque parece tener poco valor práctico, es una medida de "lo empinado" del diagrama de desplazamientos y está relacionado con la ventaja mecánica del sistema de leva y se manifiesta en aspectos tales como el ángulo de presión.

La segunda derivada de f con respecto a θ también es significativa. Se representa por f'' , o sea

$$f''(\theta) = \frac{d^2f}{d\theta^2} \quad (2.3)$$

Esta derivada está íntimamente relacionada con el radio de curvatura de la leva a lo largo de su perfil. Puesto que existe una relación inversa, conforme f'' se hace muy grande, el radio de curvatura se hace muy pequeño; si f'' se hace infinita, el perfil de la leva se hace puntiagudo en esa posición, lo que constituye una condición insatisfactoria, desde el punto de vista de los

esfuerzos de contacto entre las superficies de la leva y el seguidor.

La tercera derivada se representa por f''' ,

$$f'''(\theta) = \frac{d^3f}{d\theta^3} \quad (2.4)$$

Aunque no es fácil describirla geoméricamente, es la rapidez de cambio de f'' y se asocia a cargas de impacto sobre el perfil de la leva.

Las funciones f' , f'' y f''' son derivadas con respecto a θ y se relacionan con la geometría del sistema de leva. Se consideraran ahora las derivadas de los movimientos del seguidor con respecto al tiempo. En primer lugar se supondrá que se conoce la historia del movimiento de entrada $\theta(t)$ con respecto al tiempo. También se supone que se conoce su velocidad $\omega = d\theta/dt$, su aceleración $\alpha = d^2\theta/dt^2$, y su siguiente derivada, llamada con frecuencia tirón o segunda aceleración $\kappa = d^3\theta/dt^3$. Por lo común, la leva de placa es impulsada por un eje a velocidad constante. En este caso, ω es una constante conocida, $\theta = \omega t$, y $\alpha = \kappa = 0$. Sin embargo, durante el arranque del sistema de leva éste no es el caso, y primero se considerará la situación más general.

Partiendo de la ecuación general del diagrama de desplazamientos,

$$f = f(\theta) \quad \theta = \theta(t) \quad (2.5)$$

se pueden obtener las derivadas respecto al tiempo del movimiento del seguidor. La velocidad del seguidor está dada por:

$$v = \frac{dy}{dt} = \frac{dy}{d\theta} \frac{d\theta}{dt}$$

$$V = f' \omega \quad (2.6)$$

del mismo modo, la aceleración y el tirón del seguidor están dados por:

$$A = \frac{d^2v}{dt^2} = f''w^2 + f'\alpha \quad (2.7)$$

$$T = \frac{d^3v}{dt^3} = f'''\omega^3 + 3f''w\alpha + f'\kappa \quad (2.8)$$

Cuando la velocidad del eje de la leva es constante, estas expresiones se reducen a

$$V = f'\omega \quad A = f''\omega^2 \quad T = f'''\omega^3 \quad (2.9)$$

Por esta razón se ha hecho costumbre común referirse a las gráficas de las derivadas cinemáticas f' , f'' y f''' , como las curvas de "velocidad", "aceleración" y "tirón" para un movimiento dado. Estos nombres serían apropiados sólo para una leva de velocidad constante, y sólo en el caso de que su escala fuera determinada por ω , ω^2 y ω^3 , respectivamente. Sin embargo resulta útil usar estos nombres para las derivadas cuando se están tomando en cuenta las implicaciones físicas de una cierta elección del diagrama de desplazamientos.

La implicación que tiene la curva de aceleración sobre un seguidor que tiene cierta masa es que ejercerá una fuerza de inercia, por lo tanto, la curva de aceleración, es indicadora de la fuerza de inercia del seguidor que, se debe sentir en los cojinetes del seguidor y en el punto de contacto con la superficie de la leva. Una curva de aceleración con cambios abruptos, ejercerá esfuerzos de contacto que cambian bruscamente en los cojinetes y sobre la superficie de la leva, dará por resultado ruido, desgaste de las superficies y la falla final. Por consiguiente, al elegir un diagrama de desplazamientos es muy importante asegurarse que su primera y segunda derivadas, es decir, las curvas f' y f'' , no contengan cambios en escalón.

Aunque las levas con características de aceleración discontinuas se encuentran a veces en aplicaciones de baja velocidad, con toda certeza tales levas presentan problemas conforme se aumenta la velocidad. Para cualquier aplicación de leva de alta velocidad es importante que no sólo sean continuas las curvas de desplazamiento y velocidad, sino también la de

aceleración para el ciclo completo de movimiento, por esta razón no deben existir discontinuidades en las fronteras de las diferentes secciones de la leva. De la ecuación 2.9, la importancia de las derivadas continuas se hace más seria conforme se eleva la velocidad del eje de la leva. Mientras más alta sea la velocidad, mayor será la necesidad de curvas suaves. A grandes velocidades también se requiere que el tirón, el cual está relacionado con la rapidez de cambio de la fuerza, y quizá incluso derivadas más altas, sean también continuas. Sin embargo, en la mayor parte de las aplicaciones ésto no es necesario.

No se puede dar una respuesta sencilla a qué tan alta sea una velocidad, antes de que la aplicación requiera técnicas de diseño de alta velocidad. Esto depende no sólo de la masa del seguidor, sino también de la rigidez del resorte de recuperación, los materiales usados, la flexibilidad del seguidor y muchos otros factores.

2.4 MOVIMIENTOS ESTANDAR DE LAS LEVAS.

Kloomok y Muffley [s] desarrollaron un método para diseñar el diagrama de desplazamientos que impide el tirón infinito con su efecto destructivo en el sistema leva-seguidor, para lo cual se emplean tres funciones analíticas:

- a) Cicloide.
- b) Armónica.
- c) Polinomial.

Estas curvas tienen derivadas continuas en todos los puntos intermedios, por lo que la aceleración cambia gradualmente y el tirón es finito. En los extremos se evita el tirón infinito igualando las aceleraciones. Además reducen el esfuerzo que surge al diseñar el diagrama completo de desplazamientos para una leva de alta velocidad.

La selección de los perfiles para requerimientos determinados se hace de acuerdo a los siguientes criterios:

1. La cicloide proporciona aceleración cero en ambos extremos, en consecuencia se puede acoplar a un reposo en cada extremo. Debido a que el ángulo de presión es relativamente alto y la aceleración retorna innecesariamente a cero, no se deben acoplar dos cicloides

a menos que esto sea requerido.

2. La armónica proporciona la más baja aceleración pico y el más pequeño ángulo de presión de las tres curvas. Debido a que la aceleración en el punto medio es cero, con frecuencia se usa la semiarmónica cuando un punto con velocidad constante elevada sigue a otro con aceleración constante.

3. Las funciones polinomiales tienen una curva de aceleración no simétrica y proporcionan una aceleración pico y un ángulo de presión intermedio entre la armónica y la cicloide.

Estos tipos de curvas que se presentan en la Tabla I, representan sólo una sección del diagrama de desplazamientos completo; la elevación para cada sección se identifica por L y el ángulo de rotación de la leva se denota por β . Cada una de las curvas depende del parámetro θ/β el cual varía desde cero en el extremo izquierdo hasta la unidad en el extremo derecho donde $\theta=\beta$. La tabla consiste de veintiun ecuaciones que son suficientes para las aplicaciones prácticas [3].

Por último, se deben hacer notar que los movimientos estándar para levas presentados en esta sección no forman un conjunto exhaustivo; que también es factible formar levas con buenas características dinámicas partiendo de una amplia variedad de curvas con movimientos posibles [1] [2].

2.5 IGUALACION DE LAS DERIVADAS DE LOS DIAGRAMAS DE DESPLAZAMIENTO.

Los movimientos estándar de la sección anterior, se pueden unir para formar un diagrama de desplazamientos completo para una aplicación específica. El procedimiento consiste en determinar los valores apropiados de L y β para cada segmento, de tal manera que se cumplan los siguientes puntos:

1.-Se satisfagan las necesidades de movimiento de la aplicación en particular.

2.-Los diagramas de desplazamiento, "velocidad" y "aceleración" sean continuos a través de las fronteras de los segmentos. El diagrama del "tirón" puede admitir discontinuidades si es necesario, pero no debe hacerse infinito; es decir, la curva de "aceleración" puede contener vértices pero no discontinuidades.

3.-Las magnitudes máximas de los picos de "velocidad" y

TABLA I

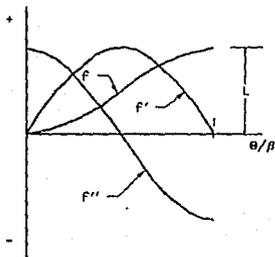
MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE DE SUBIDA COMPLETA (1).

$$r = \frac{L}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) \right]$$

$$r' = \frac{\pi L}{2 \beta} \operatorname{sen} \left[\frac{\pi \theta}{\beta} \right]$$

$$r'' = -\frac{\pi^2 L}{2 \beta^2} \cos \left[\frac{\pi \theta}{\beta} \right]$$

$$r''' = -\frac{\pi^3 L}{2 \beta^3} \operatorname{sen} \left[\frac{\pi \theta}{\beta} \right]$$



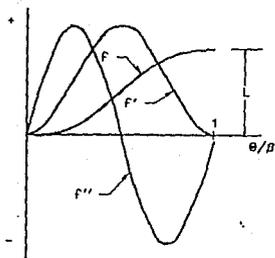
MOVIMIENTO CICLOIDAL SIMPLE DE SUBIDA COMPLETA (2).

$$r = L \left[\frac{\theta}{\beta} - \frac{1}{2\pi} \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right]$$

$$r' = \frac{L}{\beta} \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right]$$

$$r'' = \frac{2\pi L}{\beta^2} \operatorname{sen} \left[\frac{2\pi\theta}{\beta} \right]$$

$$r''' = \frac{4\pi^2 L}{\beta^3} \cos \left[\frac{2\pi\theta}{\beta} \right]$$



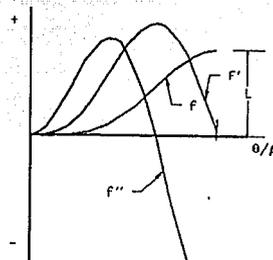
MOVIMIENTO ARMÓNICO MODIFICADO DE SUBIDA COMPLETA (3).

$$f = \frac{L}{2} \left[\left[1 - \cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) \right] - \frac{1}{4} \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right] \right]$$

$$f' = \frac{\pi L}{2 \beta} \left[\operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) - \frac{1}{2} \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right]$$

$$f'' = \frac{\pi^2 L}{2 \beta^2} \left[\cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) - \cos \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right]$$

$$f''' = -\frac{\pi^3 L}{2 \beta^3} \left[\operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) - 2 \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right]$$



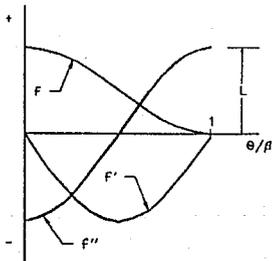
MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE DE RETORNO COMPLETO (4).

$$f = \frac{L}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) \right]$$

$$f' = -\frac{\pi L}{2 \beta} \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right)$$

$$f'' = -\frac{\pi^2 L}{2 \beta^2} \cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right)$$

$$f''' = \frac{\pi^3 L}{2 \beta^3} \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right)$$



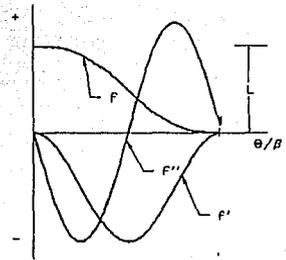
MOVIMIENTO CICLOIDAL SIMPLE DE RETORNO COMPLETO (5)

$$f = L \left[1 - \frac{\theta}{\beta} + \frac{1}{2\pi} \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right]$$

$$f' = \frac{-L}{\beta} \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right]$$

$$f'' = \frac{-2\pi L}{\beta^2} \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right)$$

$$f''' = \frac{-4\pi^2 L}{\beta^3} \cos \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right)$$



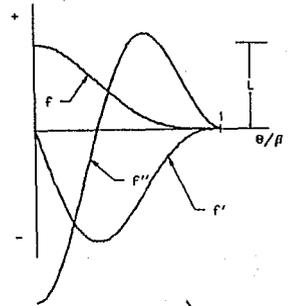
MOVIMIENTO ARMÓNICO MODIFICADO DE RETORNO COMPLETO (6).

$$f = \frac{L}{2} \left[\left[1 + \cos \left(\frac{\pi\theta}{\beta} \right) \right] - \frac{1}{4} \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right] \right]$$

$$f' = \frac{-\pi L}{2\beta} \left[\operatorname{sen} \left(\frac{\pi\theta}{\beta} \right) + \frac{1}{2} \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right]$$

$$f'' = \frac{-\pi^2 L}{2\beta^2} \left[\cos \left(\frac{\pi\theta}{\beta} \right) + \cos \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right]$$

$$f''' = \frac{\pi^3 L}{2\beta^3} \left[\operatorname{sen} \left(\frac{\pi\theta}{\beta} \right) + 2 \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right]$$



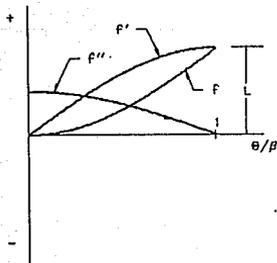
MOVIMIENTO SEMIARMONICO DE MEDIA SUBIDA INICIAL (7).

$$f = L \left[1 - \cos \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right) \right]$$

$$f' = \frac{\pi L}{2 \beta} \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$

$$f'' = \frac{\pi^2 L}{4 \beta^2} \cos \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$

$$f''' = \frac{-\pi^3 L}{8 \beta^3} \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$



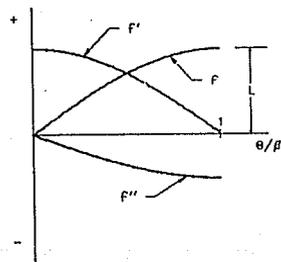
MOVIMIENTO SEMIARMONICO DE MEDIA SUBIDA FINAL (8).

$$f = L \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$

$$f' = \frac{\pi L}{2 \beta} \cos \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$

$$f'' = \frac{-\pi^2 L}{4 \beta^2} \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$

$$f''' = \frac{-\pi^3 L}{8 \beta^3} \cos \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$



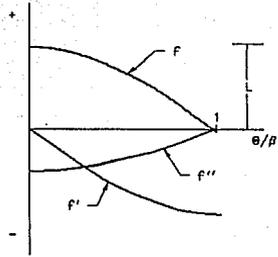
MOVIMIENTO SEMIARMONICO DE MEDIO RETORNO INICIAL (θ).

$$r = L \cos \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$

$$r' = -\frac{\pi L}{2 \beta} \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$

$$r'' = \frac{-\pi^2 L}{4 \beta^2} \cos \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$

$$r''' = \frac{\pi^3 L}{8 \beta^3} \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$



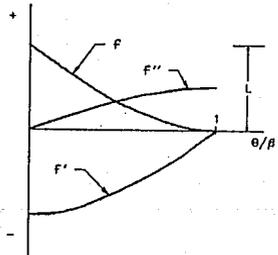
MOVIMIENTO SEMIARMONICO DE MEDIO RETORNO FINAL (θ).

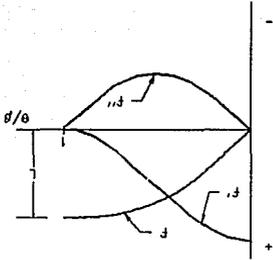
$$r = L \left[1 - \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right) \right]$$

$$r' = -\frac{\pi L}{2 \beta} \cos \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$

$$r'' = \frac{\pi^2 L}{4 \beta^2} \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$

$$r''' = \frac{\pi^3 L}{8 \beta^3} \cos \left(\frac{\pi \theta}{2 \beta} \right)$$





$$\left[\frac{\beta}{\pi \theta} \right] \cos \frac{\beta z}{L} = \dots J$$

$$\left[\frac{\beta}{\theta} \right] \text{sen} \frac{\beta z}{L} = \dots J$$

$$\left[\left[\frac{\beta}{\pi \theta} \right] 1 + \cos \right] \frac{\beta}{L} = \dots J$$

$$\left[\left[\frac{\beta}{\theta} \right] \text{sen} \frac{\pi}{1} + \frac{\beta}{\theta} \right] L = J$$

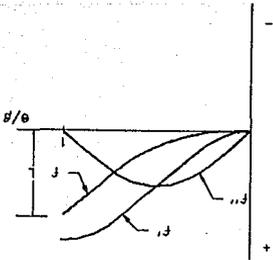
MOVIMENTO SEMICICLOIDAL DE MEDIA SUBIDA FINAL (12).

$$\left[\frac{\beta}{\pi \theta} \right] \cos \frac{\beta z}{L} = \dots J$$

$$\left[\frac{\beta}{\theta} \right] \text{sen} \frac{\beta z}{L} = \dots J$$

$$\left[\left[\frac{\beta}{\pi \theta} \right] 1 - \cos \right] \frac{\beta}{L} = \dots J$$

$$\left[\left[\frac{\beta}{\theta} \right] \text{sen} \frac{\pi}{1} - \frac{\beta}{\theta} \right] L = J$$



MOVIMENTO SEMICICLOIDAL DE MEDIA SUBIDA INICIAL (11).

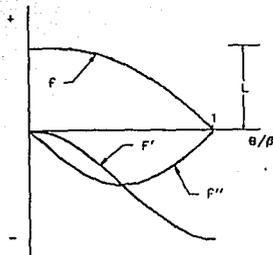
MOVIMIENTO SEMICICLOIDAL DE MEDIO RETORNO INICIAL (13).

$$r = L \left[1 - \frac{\theta}{\beta} + \frac{1}{\pi} \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) \right]$$

$$r' = \frac{-L}{\beta} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) \right]$$

$$r'' = \frac{-\pi L}{\beta^2} \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right)$$

$$r''' = \frac{-\pi^2 L}{\beta^3} \cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right)$$



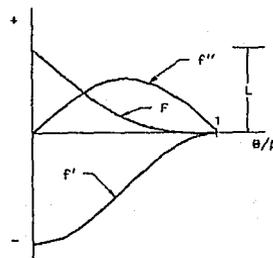
MOVIMIENTO SEMICICLOIDAL DE MEDIO RETORNO FINAL (14).

$$r = L \left[1 - \frac{\theta}{\beta} - \frac{1}{\pi} \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) \right]$$

$$r' = \frac{-L}{\beta} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) \right]$$

$$r'' = \frac{\pi L}{\beta^2} \operatorname{sen} \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right)$$

$$r''' = \frac{\pi^2 L}{\beta^3} \cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right)$$



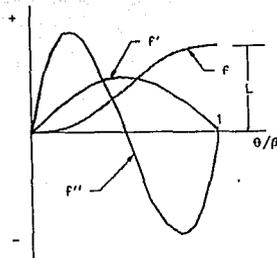
MOVIMIENTO POLINOMIAL 3-4-5 DE SUBIDA COMPLETA (15).

$$f = L \left[10 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 15 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 6 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

$$f' = \frac{L}{\beta} \left[30 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 - 60 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 30 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 \right]$$

$$f'' = \frac{L}{\beta^2} \left[60 \frac{\theta}{\beta} - 180 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 120 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 \right]$$

$$f''' = \frac{L}{\beta^3} \left[60 - 360 \frac{\theta}{\beta} + 360 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 \right]$$



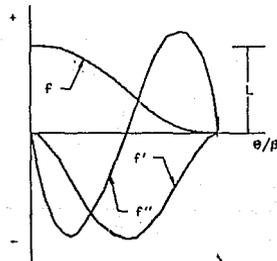
MOVIMIENTO POLINOMIAL 3-4-5 DE RETORNO COMPLETO (16).

$$f = L \left[1 - 10 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 15 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 - 6 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

$$f' = \frac{-L}{\beta} \left[30 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 - 60 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 30 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 \right]$$

$$f'' = \frac{-L}{\beta^2} \left[60 \frac{\theta}{\beta} - 180 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 120 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 \right]$$

$$f''' = \frac{-L}{\beta^3} \left[60 - 360 \frac{\theta}{\beta} + 360 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 \right]$$

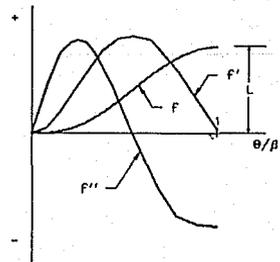


$$f = L \left[6.09755 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 20.78040 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 + 26.73155 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^6 - 13.60965 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^7 + 2.56095 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^8 \right]$$

$$f' = \frac{L}{\beta} \left[18.29265 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 - 103.902 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 160.3893 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 - 95.26755 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^6 + 20.48760 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^7 \right]$$

$$f'' = \frac{L}{\beta^2} \left[36.58530 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) - 415.608 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 801.9465 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 - 571.60530 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 + 143.41320 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^6 \right]$$

$$f''' = \frac{L}{\beta^3} \left[36.5853 - 1246.824 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 3207.786 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 2858.0265 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 860.4792 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$



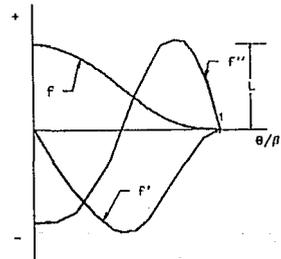
MOVIMENTO POLINOMIAL θ DE RETORNO COMPLETO (18)

$$\Gamma = L \left[1.00 - 2.63415 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 2.78055 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 + 3.1706 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^8 - 6.87795 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^7 + 2.56095 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^6 \right]$$

$$\Gamma' = \frac{-L}{\beta} \left[5.26830 \frac{\theta}{\beta} - 13.90275 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 - 19.02360 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 + 48.14565 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^6 - 20.48760 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^7 \right]$$

$$\Gamma'' = \frac{-L}{\beta^2} \left[5.26830 - 55.611 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 95.118 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 288.8739 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 - 143.4132 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^6 \right]$$

$$\Gamma''' = \frac{L}{\beta^3} \left[166.833 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 380.472 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 1444.3695 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 860.4792 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$



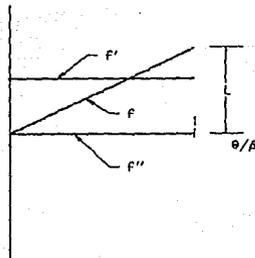
MOVIMIENTO DE VELOCIDAD CONSTANTE POSITIVA (19).

$$f = L \left[\frac{\theta}{\beta} \right]$$

$$f' = \frac{L}{\beta}$$

$$f'' = 0$$

$$f''' = 0$$



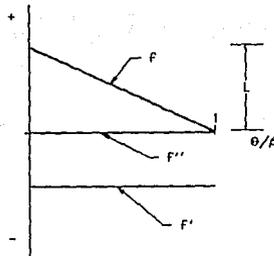
MOVIMIENTO DE VELOCIDAD CONSTANTE NEGATIVA (20).

$$f = L \left[\frac{\theta}{\beta} \right]$$

$$f' = -\frac{L}{\beta}$$

$$f'' = 0$$

$$f''' = 0$$



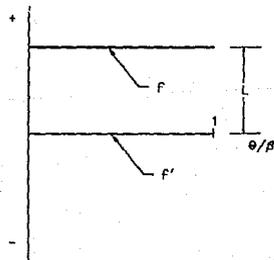
MOVIMIENTO DE DETENSION (21).

$$f = L$$

$$f' = 0$$

$$f'' = 0$$

$$f''' = 0$$



"aceleración" se mantengan tan bajos como sea posible, coherente con las dos condiciones previas.

2.6 EJEMPLO DE APLICACION.

Los conceptos vertidos en este capítulo pueden ilustrarse mejor por medio de un ejemplo:

Al girar 65 grados la palanca angular del mecanismo mostrado en la figura 2.2, la corredera se desplaza 35mm. En su carrera de trabajo, la corredera se mueve a la izquierda en un tiempo de 0.95 segundos, se mantiene en esa posición durante un segundo, posteriormente retorna a su posición inicial en un tiempo de 0.65 seg y finalmente se mantiene en esa posición durante otro segundo. El eje de la leva tiene una velocidad angular de 100 rpm (1.745 rad/seg). Es necesario determinar las curvas del diagrama de desplazamientos y todas las características de él, para poder diseñar el perfil de la leva.

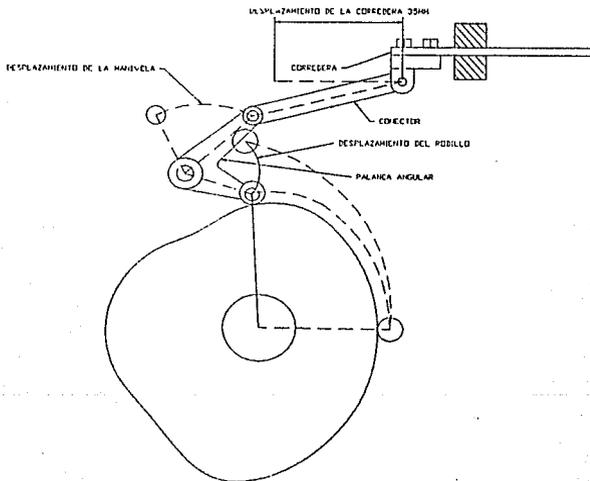


Fig. 2.2 Mecanismo leva seguidor.

Para resolver este problema procedemos de la siguiente manera:

La palanca angular gira 65 grados en sentido contrario a las manecillas del reloj en $t_1=0.95$ segundos, después se mantiene en reposo durante $t_2=1$ segundo y gira en sentido contrario 65 grados en un tiempo de $t_3=0.65$ segundos manteniéndose finalmente en reposo durante $t_4=1$ segundo. El tiempo total para esta operación es $t=3.6$ segundos.

Puesto que la velocidad angular de la leva es constante y además se conoce el tiempo en el cual la palanca sube, baja o se mantiene en reposo, entonces es posible determinar el ángulo de la leva por medio de la siguiente expresión:

$$\beta_n = \omega t_n \quad (2.10)$$

donde:

β_n : rotación de la leva para cada movimiento en el diagrama de desplazamientos.

ω : velocidad angular de la leva.

t_n : tiempo para cada movimiento en el diagrama de desplazamientos.

Por lo cual:

para la subida $\beta_1 = 95$ grados y una elevación de $L_1 = 65^\circ$.

para el reposo $\beta_2 = 100$ grados y una elevación de $L_2 = 65^\circ$.

para la bajada $\beta_3 = 65$ grados y una elevación de $L_3 = 65^\circ$.

para el reposo $\beta_4 = 100$ grados y una elevación de $L_4 = 0^\circ$.

Para formar el diagrama de desplazamientos solo es necesario seleccionar las curvas para la subida y el retorno, puesto que las detenciones se realizan con la curva 21 de la Tabla I, las cuales tienen en sus extremos los valores de f' y f'' igual a cero, condiciones impuestas por los reposos. Por lo cual, el tipo de curva que satisface dichas condiciones son las curvas cicloidales de subida y retorno completo, curvas 2 y 5 de la Tabla I respectivamente. Asimismo, las curvas polinomiales 15 y 16 pueden utilizarse. Garantizándose que los diagramas de desplazamiento, velocidad y aceleración sean continuos. Ambas soluciones se muestran en las figuras 2.3 a 2.8. En dichas figuras f' y f'' se deben de multiplicar por la velocidad angular y por la velocidad

angular al cuadrado respectivamente, para obtener unidades de velocidad y aceleración.

Aunque las gráficas a simple vista parecen ser iguales, en realidad no lo son, por ejemplo, los valores pico de f'' en la figura 2.5 en 211 y 244 grados tienen un valor de -317.2378 y 317.2378 respectivamente, en tanto que en la figura 2.8 en 210 y 247 grados el valor de f'' es de -291.503 y -291.503 respectivamente. Siendo por tanto el diagrama de desplazamientos de la figura 2.6 el más adecuado para el diseño del perfil desde el punto de vista dinámico.

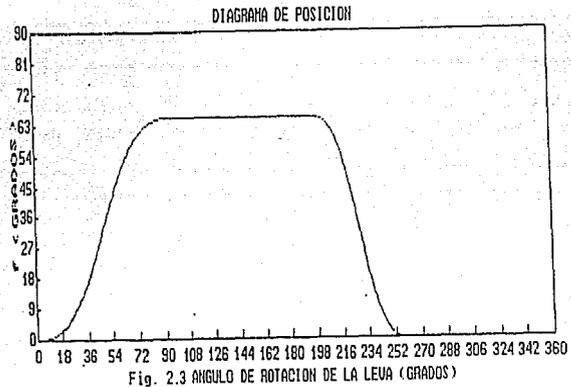


Fig. 2.3 ANGULO DE ROTACION DE LA LEVA (GRADOS)

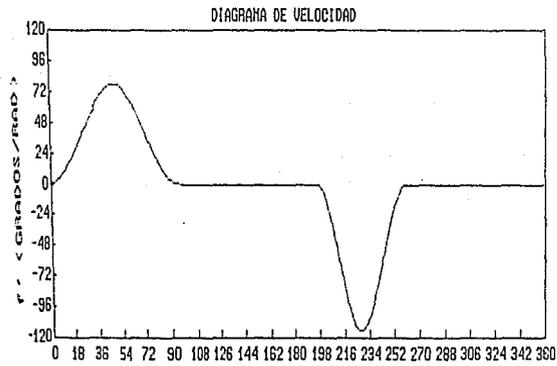


Fig. 2.4 ANGULO DE ROTACION DE LA LEVA (GRADOS)

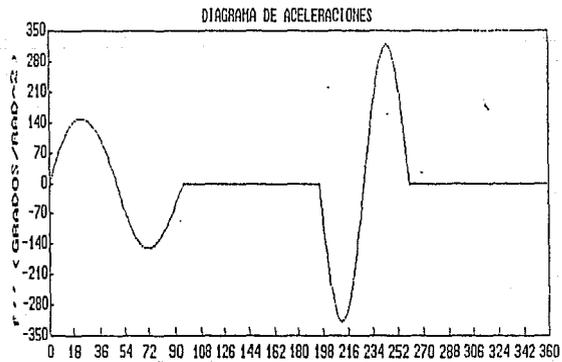


Fig. 2.5 ANGULO DE ROTACION DE LA LEVA (GRADOS)

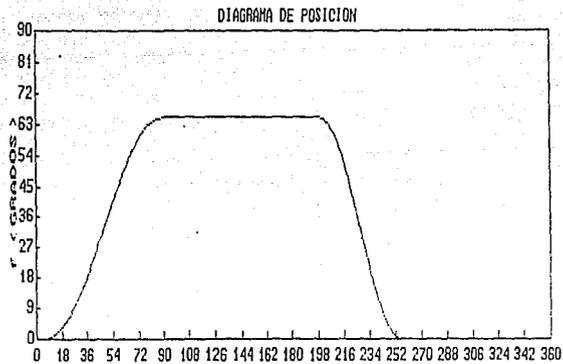


Fig. 2.6 ANGULO DE ROTACION DE LA LEVA (GRADOS)

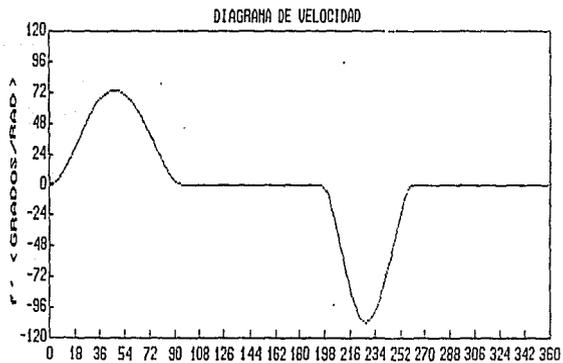


Fig. 2.7 ANGULO DE ROTACION DE LA LEVA (GRADOS)

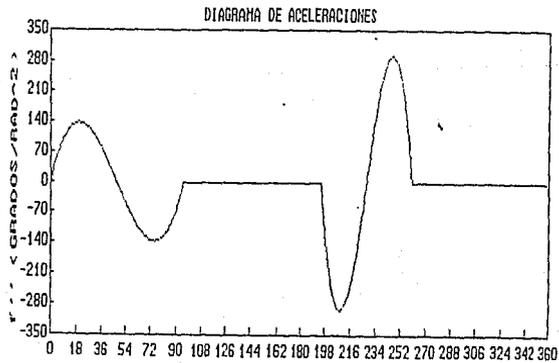


Fig. 2.8 ANGULO DE ROTACION DE LA LEVA (GRADOS)

CAPITULO 3

SINTESIS DE LEVAS

3.1 INTRODUCCION.

Después de que el diagrama de desplazamientos ha sido diseñado y el tipo del seguidor ha sido elegido para satisfacer los requerimientos de una máquina, el paso siguiente consiste en sintetizar el perfil de la leva que cumpla con dicho diagrama de desplazamientos. De tal manera que la forma del perfil dependerá de diferentes variables tales como: el propio diagrama de desplazamientos, el radio del círculo base, la distancia de excentricidad, el radio del rodillo, etc.

El diseño del perfil, se puede realizar por métodos gráficos ó métodos analíticos, de tal forma que al realizar ésta labor se pueden presentar ciertos inconvenientes dependiendo de como se elijan los parámetros antes mencionados, por ejemplo: puntas en el perfil (problema de socavación), ver figura 3.1 y ángulos de presión elevados. Por esta razón el diseño se realiza iterativamente al variar dichos parámetros para obtener una adecuada solución.

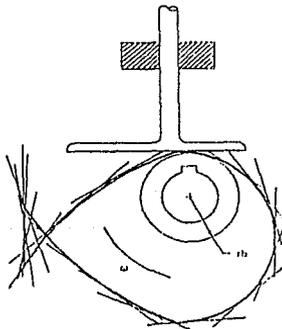


Fig. 3.1 Problema de socavación en una leva.

3.2 NOMENCLATURA DE LAS LEVAS.

Es necesario contar con cierta terminología para la construcción del perfil de la leva de acuerdo con la figura 3.2, se denomina:

Círculo base.- El círculo base es el círculo más pequeño que puede ser dibujado con centro en el eje de rotación de la leva y tangente a la superficie de ésta. El diámetro del círculo base es importante ya que determina el tamaño de la leva. El radio base es simbolizado con r_b .

Punto de trazo.- Es un punto teórico del seguidor. El cual se puede colocar en el caso de una leva con seguidor de carretilla en el centro de la carretilla y sobre la superficie de la cara, en el caso de un seguidor de cara plana, sirve como auxiliar para el trazado de la leva.

Perfil de la leva.- Es la curva de trabajo ó contorno de la leva.

Curva de paso.- Es el lugar geométrico generado por el punto de trazo, conforme el seguidor se mueve en relación con la leva. En el caso de un seguidor de rodillo, la curva de paso y la superficie de la leva están separadas por el radio del rodillo.

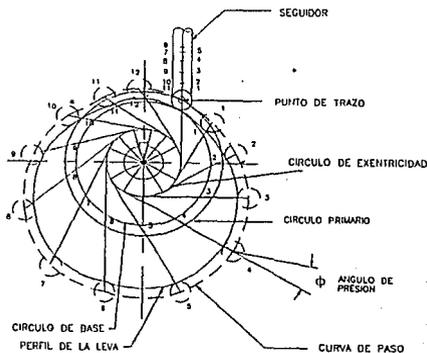


Fig. 3.2 Nomenclatura de las levas.

Círculo primario.- Este círculo es el más pequeño que puede ser trazado desde la curva de paso hasta el centro de rotación de la leva. El radio primario se representa como r_a , para la figura 3.2, $r_a = r_b + r_r$, donde r_r es el radio de la carretilla, para este tipo de seguidor. En el caso de un seguidor de cara plana, el círculo base y el círculo primario son iguales.

Círculo de excentricidad.- Es el círculo que se forma, teniendo como radio la distancia excéntrica, la cual va del centro de giro de la leva a la línea de acción del seguidor.

Ángulo de presión.- El ángulo de presión es el ángulo formado entre la normal a la curva de paso y la dirección del seguidor. Para el seguidor de carretilla, la línea normal pasa através del centro del seguidor, aunque el punto de contacto es en la superficie de la leva. El ángulo de presión es simbolizado como ϕ .

Punto de paso.- El punto de paso es un punto sobre la curva de paso en el cual el ángulo de presión es máximo. El máximo ángulo de presión es representado como ϕ_m .

Esta terminología se aplica a los diferentes tipos de levas de disco, con sus respectivas diferencias.

3.3 SINTESIS DEL PERFIL DE LEVAS.

Como se ha mencionado anteriormente el diseño del perfil de una leva se puede llevar a cabo mediante:

- a) Métodos gráficos.
- b) Métodos analíticos.

En los métodos gráficos se emplea el principio de inversión cinemática, esta consiste en dejar la leva estacionaria y hacer que el seguidor gire en sentido opuesto a la dirección de rotación de la leva. Como se muestra en la figura 3.3, el círculo primario se divide en un cierto número de partes y se asignan números a cada una de éstas. Dividiendo la abscisa del diagrama de desplazamientos en igual número de partes correspondientes, se pueden transferir las distancias por medio de un transportador, del diagrama de desplazamientos directamente sobre las líneas auxiliares de la leva, a fin de localizar cada posición que

corresponde al punto de trazo. Una curva suave que pase por estos puntos es la curva de paso. En el caso de seguidor de rodillo, como el de este ejemplo, simplemente se dibuja el rodillo en su posición indicada en cada estación y luego se construye el perfil de la leva como una curva tangente al círculo del rodillo en todas estas posiciones.

La ejecución de este método implica varias desventajas, por ejemplo: el trazado del perfil de la leva y el diagrama de desplazamientos requieren una gran cantidad de divisiones para obtener una exactitud adecuada, por lo mismo, se requiere bastante tiempo para efectuar esta tarea [6].

En contraposición a los métodos gráficos, los métodos analíticos proporcionan gran exactitud y consisten en establecer una serie de ecuaciones que determinen el perfil de la leva a partir de la geometría del sistema leva seguidor.

Se han deducido las ecuaciones de diseño para levas planas con seguidor translacional de carretilla, de cara plana, oscilatorio de carretilla y oscilatorio de cara plana, entre otros [5] [7] [8].

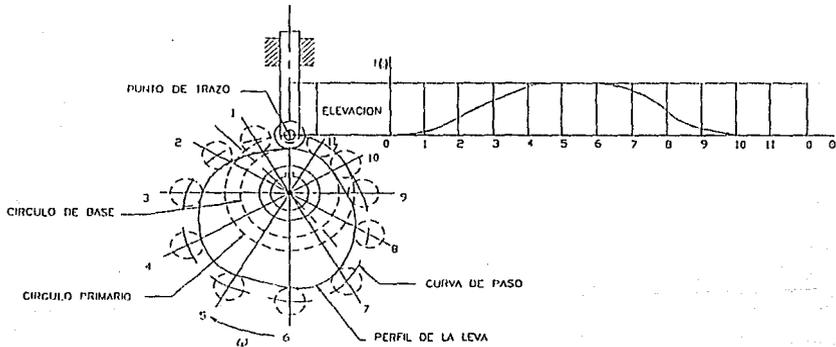


Fig. 3.3 Diseño gráfico de levas.

A manera de ejemplo para una leva con seguidor translacional de cara plana, se puede obtener en coordenadas cartesianas de la siguiente forma:

La figura 3.4 muestra una leva con un seguidor radial de cara plana. La leva gira con velocidad angular constante. El punto de contacto entre la leva y el seguidor está en (x,y) , que esta a una distancia l de la línea radial de centros del seguidor. El desplazamiento del seguidor desde el origen está dado por la siguiente ecuación:

$$R = rb + f(\theta) \quad (3.1)$$

en que rb representa el radio de base de la leva y $f(\theta)$ representa el movimiento deseado del seguidor en función del desplazamiento angular de la leva.

Se puede determinar con facilidad la ecuación para la longitud de contacto l a partir de la geometría de la figura 3.4.

En los triángulos mostrados se ve que:

$$R = y \operatorname{sen}\theta + x \operatorname{cos}\theta \quad (3.2)$$

$$l = y \operatorname{cos}\theta - x \operatorname{sen}\theta \quad (3.3)$$

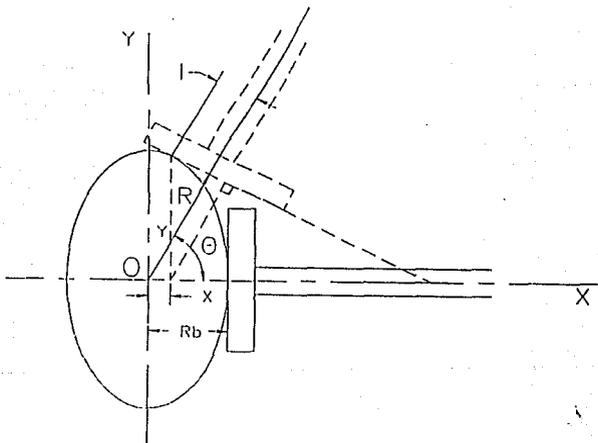


Fig. 3.4 Leva con seguidor radial de cara plana.

De las expresiones anteriores la ecuación 3.3 es la derivada del lado derecho de la ecuación 3.2 con respecto a θ . En consecuencia:

$$l = \frac{dR}{d\theta} = \frac{d}{d\theta} \{rb + f(\theta)\}$$

$$l = f'(\theta) \quad (3.4)$$

Si se da el diagrama del desplazamiento mediante una ecuación matemática $f(\theta)$ entonces es fácil determinar R y l a partir de las ecuaciones 3.1 y 3.4. En la ecuación 3.4 se puede que la longitud mínima de la cara del seguidor es independiente del radio mínimo de la leva.

Para determinar las ecuaciones de x y y , que son las coordenadas del punto de contacto de la leva y el seguidor, basta con resolver las ecuaciones 3.2 y 3.3 simultáneamente, resultando:

$$x = R \cos \theta - l \sin \theta \quad (3.5)$$

$$y = R \sin \theta - l \cos \theta \quad (3.6)$$

Sustituyendo los valores de R y l en las ecuaciones 3.1 y 3.4 respectivamente:

$$x = \{rb + f(\theta)\} \cos \theta - f'(\theta) \sin \theta \quad (3.7)$$

$$y = \{rb + f(\theta)\} \sin \theta + f'(\theta) \cos \theta \quad (3.8)$$

Con lo cual se puede determinar el perfil de la leva.

Las ecuaciones para el perfil de una leva de disco en coordenadas polares (r, γ) , para los diferentes tipos de seguidores se presentan en la Tabla II, la obtención de estas ecuaciones se pueden consultar en la referencia [8].

La evaluación de las ecuaciones de la Tabla II, permite obtener el perfil de la leva con la precisión y exactitud que se requiera.

3.4 CONSIDERACIONES PRACTICAS EN LA SINTESIS DE LEVAS.

Las primeras fases de la síntesis de una leva comunmente se ven envueltas en una serie de dudas y confusiones, ya que las primeras decisiones en torno a los parámetros a elegir, se toman de manera arbitraria y por lo tanto, pueden ocasionar consecuencias significativas en el diseño y en el costo del sistema leva seguidor. Por esta razón es necesario discutir algunas de las interrogantes que se presentan en las etapas iniciales al sintetizar una leva.

Tipo del movimiento del seguidor.

Hay muchos casos, en los cuales se puede elegir un movimiento de translación o de rotación del seguidor para que el mecanismo cumpla completamente la función que debe desempeñar. Por ejemplo, para producir un movimiento lineal esta función se puede realizar por medio de un seguidor oscilante de carretilla que tenga un brazo de palanca largo o por medio de un seguidor translacional de carretilla, en este caso, el seguidor oscilante tiene una ventaja significativa sobre el seguidor translacional, ya que el seguidor translacional puede girar sobre su eje de translación, por esta razón necesita tener una guía antirotación para evitar una desviación del seguidor de carretilla con la leva. En tanto que el seguidor oscilante se mantendrá alineado en el mismo plano de la leva sin guías por medio de su propio pivote. Asimismo, en el pivote se tiene una fuerza de fricción pequeña comparada con la fuerza de fricción de un seguidor translacional, ya que esta última tiene una relación geométrica uno a uno con la fuerza de la leva [2] y esto puede ocasionar efectos parásitos en el sistema.

Por otro lado, en el caso de seguidores translacionales de cara plana estos deliberadamente giran sobre su propio eje, teniendo como resultado un momento friccional provocado por el descentramiento. Este movimiento producirá un desgaste homogéneo en toda la cara del seguidor. Esto es una práctica común en las levas de las válvulas automotrices que utilizan seguidores de cara plana.

— TABLA II

LEVA CON SEGUIDOR DE CARRETILLA TRANSLACIONAL.

ESPECIFICACION DEL MOVIMIENTO DEL SEGUIDOR:

$$z = f(\theta)$$

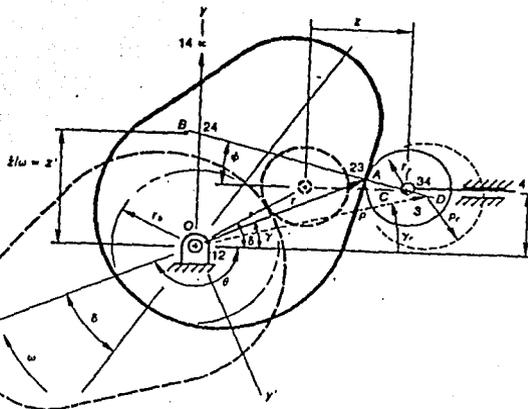
GEOMETRIA DEL PERFIL DE LEVA:

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2} z' - c}{((r_b + r_r)^2 - c^2 + z)^{1/2}} \right]$$

$$\delta = \tan^{-1} \left[\frac{c}{[(r_b + r_r)^2 - c^2]^{1/2}} \right]$$

$$r = \left\{ [(r_b + r_r) \cos \delta + z - r_r \cos \phi]^2 + \right. \\ \left. + [(r_b + r_r) \sin \delta + \sin \phi]^2 \right\}^{1/2}$$

$$y = \tan^{-1} \left[\frac{(r_b + r_r) \sin \delta + r_r \sin \phi}{(r_b + r_r) \cos \delta + z - r_r \cos \phi} \right]$$



LEVA CON SEGUIDOR DE CARRETILLA OSCILATORIO.

ESPECIFICACION DEL MOVIMIENTO DEL SEGUIDOR:

$$\zeta = r(\theta)$$

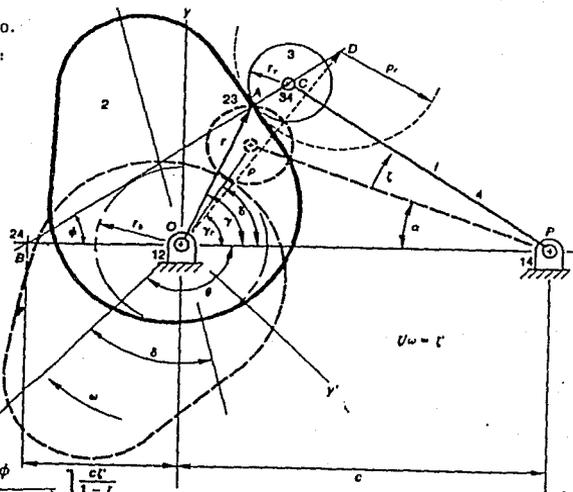
GEOMETRIA DEL PERFIL DE LA LEVA:

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{c^2 + l^2 - (r_b + r_r)^2}{2cl} \right]$$

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{l \sin(\alpha + \zeta)}{\frac{c}{1 - \zeta'} - l \cos(\alpha - \zeta)} \right]$$

$$r = \left\{ [c - l \cos(\alpha + \zeta) - r_r \cos \phi]^2 + \right. \\ \left. + [l \sin(\alpha + \zeta) - r_r \sin \phi]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left[\frac{l \sin(\alpha + \zeta) - r_r \sin \phi}{c - l \cos(\alpha + \zeta) - r_r \cos \phi} \right] \frac{c l'}{1 - l}$$



LEVA CON SEGUIDOR DE CARA PLANA TRANSLACIONAL.

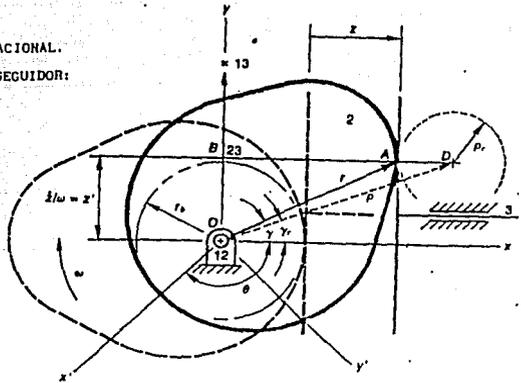
ESPECIFICACION PARA EL MOVIMIENTO DEL SEGUIDOR:

$$z = f(\theta)$$

GEOMETRIA DEL PERFIL DE LA LEVA:

$$r = \left\{ (r_b + z)^2 + z'^2 \right\}^{1/2}$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left[\frac{z'}{r_b + z} \right]$$



LEVA CON SEGUIDOR DE CARA PLANA OSCILATORIO.

ESPECIFICACIONES DE MOVIMIENTO DEL SEGUIDOR.

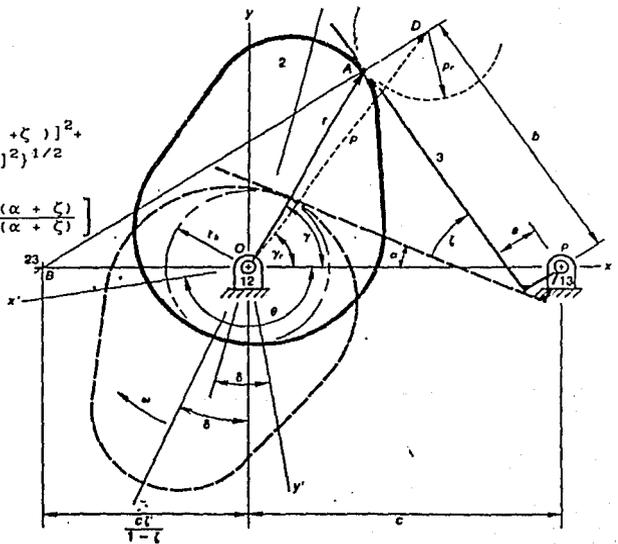
$$\zeta = f(\theta)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left[\frac{a + r_b}{c} \right]$$

$$b = \left[\frac{c}{1 \pm \zeta'} \right] \cos(\alpha + \zeta)$$

$$r = \left\{ [c - a \sin(\alpha + \zeta) - b \cos(\alpha + \zeta)]^2 + [-a \cos(\alpha + \zeta) + b \sin(\alpha + \zeta)]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left[\frac{-a \cos(\alpha + \zeta) + b \sin(\alpha + \zeta)}{c - a \sin(\alpha + \zeta) - b \cos(\alpha + \zeta)} \right]$$



Seguidores de carretilla o cara plana.

El seguidor de carretilla es una buena elección para el diseño de una leva porque se pueden tener radios de curvatura negativos en la leva. Esto trae como consecuencia una mayor variedad en el diagrama de desplazamientos del seguidor. También, pueden conseguirse seguidores de carretilla comerciales con diferentes proveedores ocasionando que su costo sea relativamente bajo.

Las levas utilizadas en máquinas automáticas en líneas de producción utilizan generalmente seguidores de carretilla. Para realizar un cambio rápido de un seguidor en mal estado por otro nuevo, se realiza sin perder mucho tiempo en la línea de producción, esta es una razón de peso para su elección.

Por otro lado los grandes usuarios de seguidores de cara plana son los fabricantes de autos. De tal manera en grandes cantidades este tipo de seguidores resultan ser menos caros de fabricar que un seguidor de carretilla. También el seguidor de cara plana, en las levas de las válvulas, ocupa menos espacio que una leva de seguidor de carretilla. De cualquier manera algunos fabricantes de autos están cambiando a seguidores de carretilla para reducir fricción y aumentar el rendimiento de combustible. Las máquinas diesel llevan un largo tiempo utilizando seguidores de carretilla para lograr un alto desempeño.

Formas de unión entre la leva y el seguidor.

En un sistema leva-seguidor, el diseñador debe asegurarse de que el seguidor mantenga el contacto con la leva, para que el mecanismo cumpla su función adecuadamente. Esto se puede lograr mediante gravedad, por medio de un resorte o por restricciones mecánicas. Una restricción mecánica muy usual es aquella en la que el seguidor mantiene el contacto con la leva por medio de una ranura, aunque este tipo de restricción resulta ser cara en comparación con un resorte, presenta ventajas. En este caso hay dos superficies por maquinarse y además el tratamiento térmico que se dará a las superficies puede ocasionar que el seguidor no ajuste apropiadamente. Esto requiere por lo tanto, tratamientos térmicos y maquinados posteriores para llevar a cabo un reajuste

del tamaño. En tanto que una leva con resorte también puede requerir un tratamiento térmico pero quizás se pueda utilizar sin maquinado.

La principal ventaja de una ranura como restricción para mantener el contacto, es que no necesita un resorte de retorno, y puede entonces correr a velocidades mayores, ya que los resortes y la masa del seguidor pueden entrar en resonancia en alguna velocidad, causando un problema de destrucción del perfil de la leva. Asimismo los cambios de aceleración pueden ocasionar golpeteo, ruido, altos esfuerzos y fricción local.

Tamaño de la leva.

Una leva pequeña es recomendada porque es más compacta, tiene una velocidad lineal baja y menos vibraciones a velocidades altas. Para un diagrama de desplazamientos dado, debe ser diseñada una leva lo más pequeña posible. Hay tres factores que determinan el tamaño de una leva [s]:

- a) El ángulo de presión.
- b) El radio de curvatura del perfil de la leva.
- c) El tamaño del mamelón de la leva.

Angulo de presión. Este parámetro es propio de las levas con seguidor de punta o de carretilla, y tiene interés especial por razones de carácter dinámico, pues está ligado a la transmisión de potencia [10]. Si el ángulo de presión es demasiado grande, aumentará el efecto de fricción y puede hacer que el seguidor sufra un atascamiento. Los ángulos de presión en la leva de hasta aproximadamente 30 a 35° se consideran como los más grandes que son factibles de usar sin provocar problemas. La influencia que tiene sobre el tamaño de la leva es que para reducir el ángulo de presión es necesario aumentar el radio de base y por lo cual el tamaño de la leva aumenta.

Radio de curvatura. En la figura 3.5(a) y (b), ambas levas tienen la misma elevación, h , el mismo seguidor de carretilla y el mismo ángulo de rotación para la elevación. El perfil de la leva en la figura 3.5(a) es suave y tiene un generoso radio de curvatura. La

leva pequeña en la figura 3.5(b) es una leva puntlagada. Por consecuencia el seguidor no describe el movimiento deseado. Este fenómeno ocurre cuando la leva es muy pequeña y se conoce como undercutting. El llamado undercutting o radio de curvatura agudo, se puede eliminar por una o ambas de las siguientes soluciones:

1. Se puede incrementar el radio de base de la leva. La desventaja de esta opción radica en el incremento del tamaño de la leva, y consecuentemente el incremento de la velocidad tangencial de la carretilla.

2. Se puede reducir el tamaño del seguidor de carretilla. Las desventajas son el incremento de los esfuerzos de contacto y la necesidad de rodamientos pequeños para el seguidor.

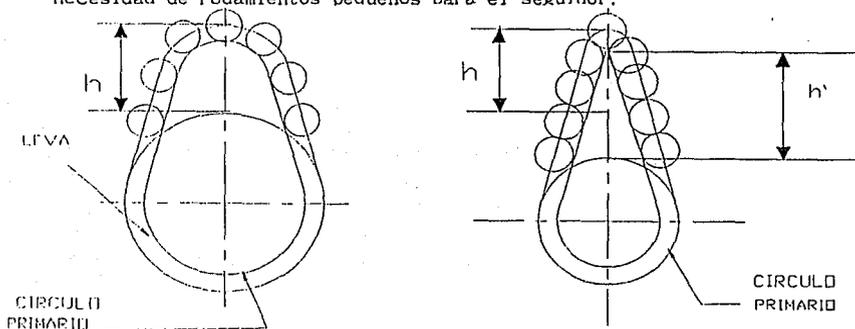


Fig. 3.5 Puntas en perfiles de levas.

Tamaño del mamelón. Si la leva tiene mamelón, ver figura 3.6, la leva debe ser lo suficientemente grande para poderlo contener y asimismo el mamelón debe de ser lo suficientemente grande para asegurar que la concentración de esfuerzos en el cuñero esta dentro de límites aceptables. Si la leva no tiene mamelón, la leva por sí misma debe de ser lo suficientemente grande para la flecha.

Leva radial o axial.

Esta elección es establecida por la geometría total de la máquina para la cual la leva va a ser diseñada. Si el seguidor va a ser movido paralelamente al eje del árbol de levas, entonces una

leva axial es requerida. Si no hay este tipo de requerimientos una leva radial es problemamente la mejor elección simplemente porque es menos complicada y más barata de fabricar.

Lubricación de levas.

Las levas necesitan una gran cantidad de lubricante. En muchas aplicaciones las levas funcionan inmersas en un baño de aceite, por ejemplo las levas automotrices prácticamente están sumergidas en un flujo de aceite del motor. Otras, sin embargo operan muy cerca de la producción o en el ensamblaje de una maquinaria en las cuales el aceite podría contaminar el producto (comida, productos personales, etc.) y es por lo cual que no tienen lubricante. Hay varias razones para dejar sin lubricación a una leva pero un seguidor de leva debe de ser provisto de una cantidad generosa de lubricante limpio y preferiblemente que contenga aditivos para condiciones de buena lubricación. Debemos recordar que el líquido lubricante tiene la función de remover el calor producido por la fricción originada en el contacto de la leva y el seguidor.

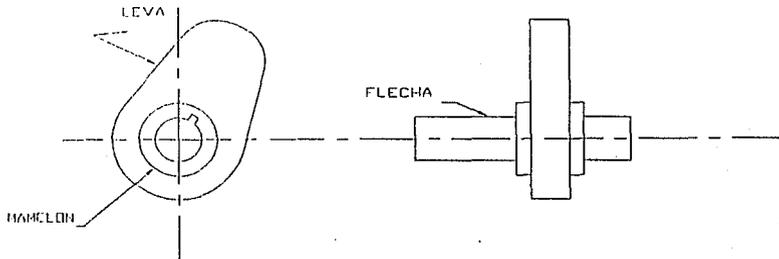


Fig. 3.6 Leva con mamelón.

3.4 EJEMPLO DE APLICACION.

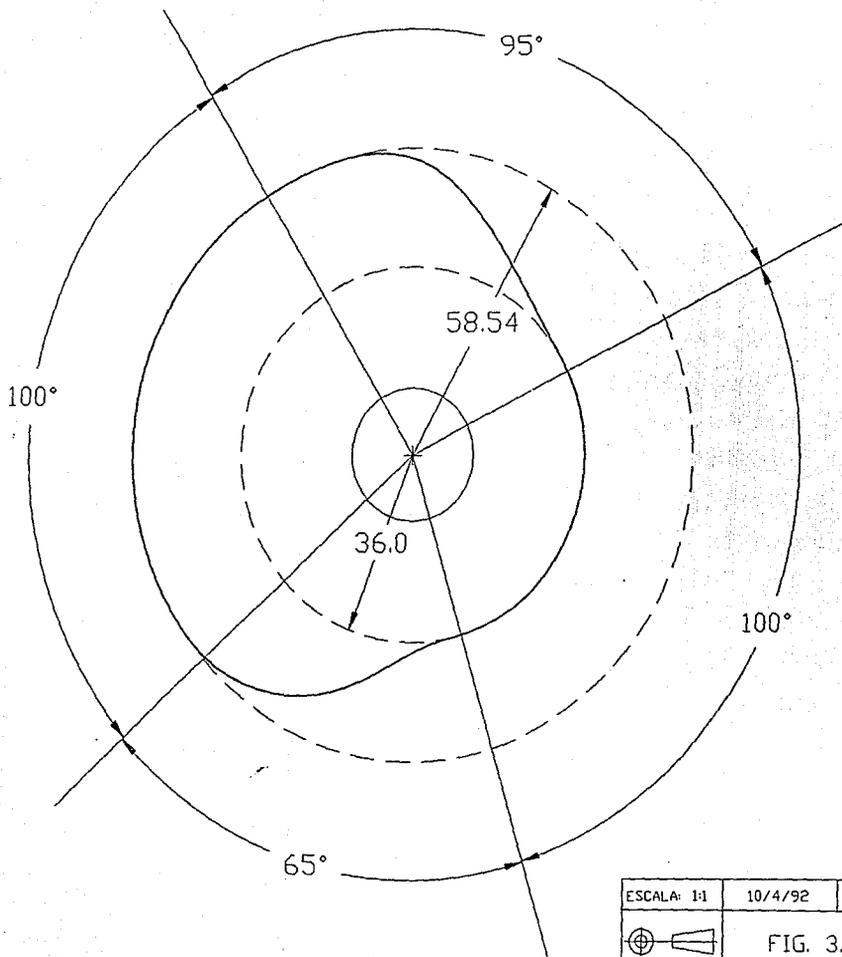
El problema de la sección 2.6, se puede utilizar para ilustrar el diseño del perfil de una leva. En este caso la leva es

del tipo de seguidor oscilante de carretilla y para el cual se utilizarán los diagramas de desplazamiento de las figuras 2.3 y 2.6, así como las ecuaciones de la Tabla II para este tipo de seguidor.

Para poder obtener el perfil se establecen los siguientes parámetros que se utilizan en las ecuaciones de la Tabla II, de acuerdo a la configuración del dispositivo que se está diseñando:

Radio de base (rb):	36 mm.
Radio de la carretilla (rr):	6.35 mm.
Longitud del seguidor (l):	22.5 mm.
Distancia entre centros (c):	50 mm.
Radio de la flecha:	12.7 mm.

obteniéndose al evaluarlas, los perfiles mostrados en las figuras 3.7 y 3.8, para los diagramas con curvas cicloidales (figura 2.3) y polinomiales (figura 2.6), respectivamente. En estas figuras se han acotado los ángulos de rotación de la leva para los reposos, la subida y el retorno del diagrama de desplazamientos. Los perfiles mostrados son muy parecidos, las diferencias que se encuentran son mínimas y difíciles de visualizar a simple vista.



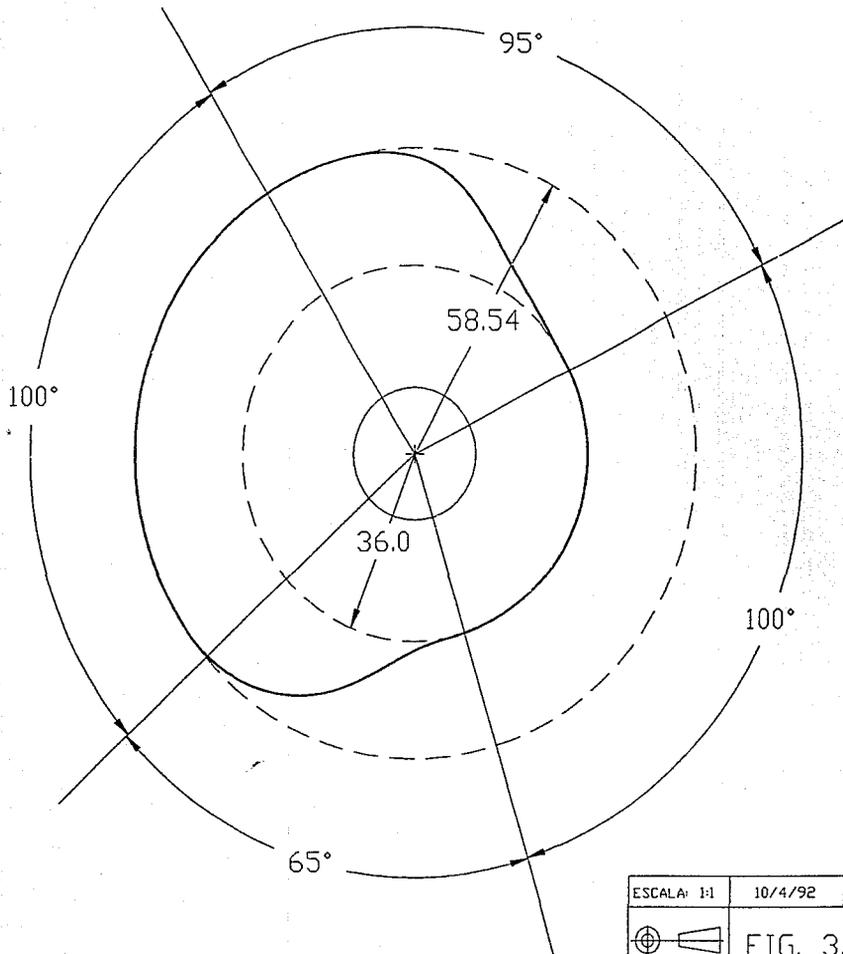
ESCALA: 1:1


10/4/92

MATERIAL: ALUMINIO

FIG. 3.7 LEVA

TIT. NO ESP.	ENCAR. 111
PROF. 111	PROF. 111
 UNAM	F. I.
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA	LIMAC
CAD-CAM-CAE	
No.	



ESCALA: 1:1

10/4/92

MATERIAL: ALUMINIO



FIG. 3.8 LEVA

TDL. NO. EXP.	LINEAL: 1/1
	ANGULAR: 1/1
 UNAM F. I. DEPARTAMENTO LIMAC DE INGENIERIA CAD-CAM-CAE	
No.	

CAPITULO 4

MANUFACTURA DE LEVAS.

4.1 INTRODUCCION.

En las secciones anteriores se expuso un gran número de factores que se tienen que considerar para diseñar una leva. De tal manera, que cuando el diseño de la leva está completo, nuevas consideraciones se deben de establecer para poderla fabricar.

En aplicaciones de levas de alta velocidad, las inexactitudes de fabricación en el perfil de la leva pueden originar aceleraciones en el seguidor, comparables en magnitud a los generados por el diagrama de desplazamientos [11]. Una cuidadosa selección del diagrama de desplazamientos es necesario pero no es condición suficiente para mantener la aceleración del seguidor dentro de límites apropiados. Por lo tanto, una leva debe de ser fabricada con gran precisión para asegurar que la aceleración del seguidor no se elevará.

La manufactura de levas, es por lo tanto, una actividad que requiere de una tecnología relativamente sofisticada para satisfacer los requisitos de precisión y durabilidad necesarios en maquinaria que opera a altas velocidades.

4.2 METODOS DE FABRICACION DE LEVAS.

Hay diversos métodos de fabricación de levas. Dentro de los cuales se pueden destacar los de arranque de viruta, pulvimetalurgia, forja, estampado, fundición y moldeo [12]. Asimismo existen diferentes materiales que se pueden emplear para una leva, por ejemplo: en aplicaciones de alta velocidad aceros al alto y bajo carbón, en tanto que para cargas y velocidades bajas, se puede utilizar fundición gris, bronce, latón o plástico. Algunos materiales están limitados a un proceso específico de fabricación, por ejemplo, la fabricación de una leva de plástico, como las utilizadas en los controladores de tiempo de las lavadoras de ropa, son fabricadas en máquinas de inyección de plástico. Los factores que intervienen en la decisión del material y método de fabricación a usar en una leva son: resistencia, exactitud, costo, condiciones

del medio ambiente del sistema, dureza y durabilidad.

De todos los métodos usados actualmente, el de arranque de viruta es el que más se emplea en la industria, debido a los materiales y aplicaciones para las que están destinadas las levas.

Hay varios métodos de fabricación mediante arranque de viruta, los más comunes son:

1. Generación geométrica.
2. Maquinado manual.
3. Duplicación análoga.
4. Control Numérico.

La generación geométrica se refiere al desbaste de una superficie, como en el caso de un cilindro excéntrico en un torno. Este método crea una superficie continua con una aproximación limitada unicamente por la calidad de la máquina y de las herramientas empleadas, desafortunadamente hay muy pocos tipos de levas que pueden ser fabricadas por este método, por ejemplo; una leva excéntrica.

En el maquinado manual se dibuja el perfil de la leva en una placa de acero y se corta por medio de una fresadora o se dibuja el perfil de la leva y posteriormente mediante una fresadora cuyo movimiento se guía mediante un pantógrafo que se mueve sobre el contorno de la copia del perfil de la leva, se obtiene la leva final. El dibujo que sigue el pantógrafo puede tener varias veces el tamaño físico de la leva para mejorar la exactitud del copiado. En todo caso, el perfil de la leva se debe terminar a mano.

El método de duplicación análoga, se emplea cuando se necesitan muchas copias de la misma leva, por lo cual se genera lo que se conoce como leva maestra y se emplea una máquina duplicadora de levas, ver figuras 4.1 y 4.2. En la cual basicamente se lleva acabo una copia de la leva maestra. Las levas generadas de esta manera, dependen finalmente de la calidad con la que haya sido generada la leva maestra. Este método es el más utilizado en la industria automotriz, puesto que es el más económico, cuando se requieren grandes cantidades de levas.

El último método es por medio de máquinas herramienta de control numérico y el cual es sin duda el método más eficiente de

producción de levas, en especial levas maestras y prototipos [13].
Este tema será tratado con mas profundidad en la siguiente sección.

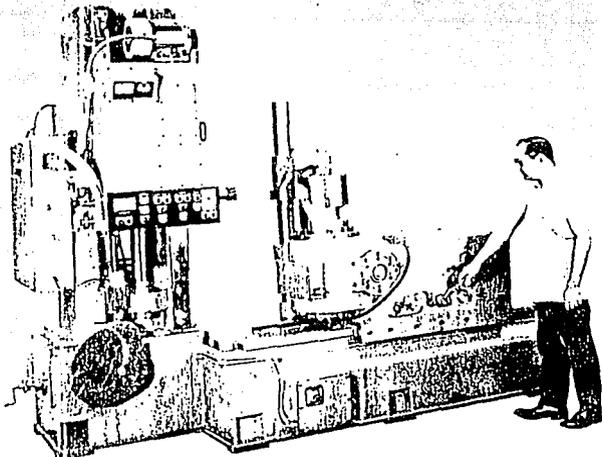


Fig. 4.1 Máquina empleada en la fabricación de levas.

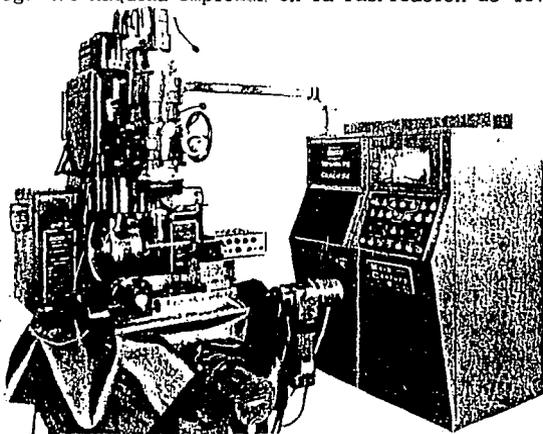


Fig. 4.2 Fabricación de una leva en máquina duplicadora.

4.3 CONTROL NUMERICO.

La automatización de los procesos de fabricación apareció debido a diversas razones:

1. Necesidad de fabricar productos en cantidad y calidad suficiente sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación.
2. Necesidad de obtener productos hasta entonces imposibles o de muy difícil fabricación, por ser excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano.
3. Necesidad de fabricar productos a precios suficientemente bajos.

Para solucionar estos problemas, se han ideado, numerosos dispositivos automáticos de tipo mecánico, electromecánico, neumático, hidráulico, electrónico, etc. De tal manera, que estos dispositivos tienden a optimizar cuatro factores: productividad, precisión, rapidez y flexibilidad, para lograr fabricar piezas con perfiles complejos que, de otra forma, no podrían haber sido fabricadas.

El control numérico es uno de los dispositivos automáticos que existen ellos. El control numérico (CN) es un sistema que, aplicado a máquinas herramienta, automatiza y controla todas las acciones de la máquina. En general, con un CN pueden controlarse:

Los movimientos de los carros o del cabezal.

El valor y el sentido de las velocidades de avance y de corte.

Los cambios de herramientas, así como de pieza.

Las condiciones de funcionamiento de la máquina, en cuanto a su modo de trabajar (con/sin refrigerante, frenos, etc.) o en cuanto a su estado de funcionamiento (deficiencias, averías, etc.).

Paralelamente, el control numérico se encarga de coordinar otras funciones que le son propias. Por ejemplo:

Control de flujos de información.

Control de la sintaxis de programación.

Diagnóstico de su funcionamiento, etc.

Toda la información necesaria para la fabricación de una pieza constituye el Programa, que es un lenguaje especial (código) por

medio de caracteres alfanuméricos sobre un soporte físico (cinta perforada, cinta magnética, puerto de comunicación RS232, etc.).

La pauta a seguir en la realización de una pieza puede ser, en forma simplificada, la siguiente:

1. Se escribe el programa de la pieza a partir de la información que se dispone (plano), del proceso de maquinado concebido y de las distintas herramientas elegidas para las distintas operaciones. Esta fase de trabajo, al hacerse externa e independiente de la máquina, permite que ésta permanezca en funcionamiento.
2. Se realiza el acopio de piezas, herramientas y del utillaje necesario, preparándolos alrededor de la máquina, para su montaje.
3. Después, se colocan las herramientas, el utillaje y la pieza sobre la máquina, así como el programa, en la unidad de control.
4. Se pone en marcha la máquina y se comprueba si la pieza es correctamente elaborada. Si no lo es y el error se debe a una mala programación, se corrige de inmediato a pie de máquina y, si el error es debido al ajuste de las herramientas, se modifican los reglajes en la unidad de control.

Historia del control numérico.

En principio, contrariamente a lo que se pudiera pensar, el control numérico de máquinas herramienta no fue concebido para mejorar los procesos de fabricación, sino para dar solución a problemas técnicos surgidos a consecuencia del diseño de piezas cada vez más difíciles de maquinar.

En 1942, la empresa Bendix Corporation tuvo problemas con la fabricación de una leva tridimensional, para el regulador de una bomba de inyección, para motores de avión. El perfil tan especial de dicha leva es prácticamente imposible de realizar con máquinas comandadas manualmente.

La dificultad provenía de combinar los movimientos del útil simultáneamente según varios ejes de coordenadas, hallando el perfil deseado. Se acordó entonces confiar los cálculos a una máquina automática que definiera un gran número de puntos de la trayectoria, siendo el útil conducido sucesivamente de uno a otro.

En 1947, John Parsons, constructor americano de hélices de helicóptero, concibe un mando automático con entrada de información

numérica.

Antes, en su afán por controlar la forma de las hélices, así como su paso, Parsons debía utilizar un gran número de plantillas y su realización estaba lejos de ser rápida y económica.

La idea de utilizar cartas perforadas (transportando las coordenadas de los ejes de los agujeros) en un lector que permitiera traducir las señales de mando a los dos ejes, permite a Pearsons desarrollar su sistema Digitón.

En esta época, la U. S. Air Force estaba preocupada por la fabricación de estructuras difíciles de trabajar por copiado y susceptibles de ser modificadas rápidamente. Gracias a su sistema, Parsons obtiene un contrato y el apoyo del Massachusetts Institute of Technology.

El gobierno americano apoya la iniciativa para el desarrollo de una fresadora de tres ejes para perfilado por control digital.

En 1953, después de cinco años de puesta a punto, el M.I.T. utiliza por primera vez el nombre de "Numerical Control".

En 1956, la U.S.A.F. hace un pedido de 170 máquinas de control numérico a tres grandes constructores americanos:

Cincinnati Milling Machine Company.

Giddin & Levis.

Kearney & Trecker.

Paralelamente a esta evolución, ciertos constructores se interesan por el desarrollo de máquinas más simples tales como taladrado, mandrinado y punteado, que no requieren ningún movimiento continuo, pero sí un posicionamiento preciso.

En 1960, también en el M.I.T., se realizaron las primeras demostraciones de Control Adaptable (un perfeccionamiento del control numérico que permite, además, la autorregulación de las condiciones de trabajo de las máquinas).

A finales de 1968 tuvieron lugar los primeros ensayos de control numérico directo (DNC).

En general, el incremento en la utilización de máquinas herramientas con CN se debe a que un gran número de problemas, que se consideraban bien resueltos por los métodos de trabajo clásicos, pueden tener una respuesta ventajosa desde el punto de vista técnico, mediante la utilización de dichas máquinas.

Evolución del control numérico.

Aunque el control numérico es una técnica relativamente joven, su evolución ha conocido ya varias fases. El origen de esta evolución hay que buscarla en los desarrollos acelerados de la electrónica y, en particular, de la microelectrónica.

En la historia del control numérico, se pueden distinguir cuatro generaciones:

En la primera, la lógica de control estaba basada en tubos electrónicos y en relés. Esta era la tecnología de las primeras máquinas con control numérico.

Más tarde, y hasta 1965, la lógica del control fue elaborada a partir de semiconductores: transistores, diodos y tiristores. Se pudieron en esta segunda etapa construir equipos de control más compactos.

Posteriormente y disponiendo de los semiconductores, ciertas combinaciones de elementos lógicos fueron englobados en un mismo soporte, lo que le valió el nombre de circuitos integrados. Esto hizo que los equipos de control fueran más funcionales, más compactos y se pudieran fabricar con un costo relativamente módico. Son las máquinas de la tercera generación.

En la cuarta generación que está situada hacia los años de 1974-1975, la lógica del tratamiento fue confiada a una computadora: en principio, una minicomputadora, hoy día, una microcomputadora. Se ha llegado así a la lógica por software o lógica programada. En efecto, la lógica del equipo de control no está realizada por montaje de elementos digitales, sino por programación de una computadora. Se trata de esta forma del CNC (Computer Numerical Control) o del control numérico con lógica programada.

Ambito de aplicación del control numérico.

De acuerdo a la productividad, precisión, rapidez y flexibilidad, es posible analizar los distintos dispositivos automáticos que existen, a fin de elegir el más conveniente de acuerdo a la cantidad de piezas que se han de fabricar, aunque este número no define unívocamente el tipo de dispositivo más adecuado. Sin embargo, en la gran mayoría de los casos suministra un índice muy importante para dicha elección.

Series de fabricación:

a) Grandes series (mayor de 10 000 piezas).

Si la serie es muy grande, las máquinas deben realizar el trabajo simultáneo de varias cabezas que, a su vez, permitan unas cadencias muy grandes y, por tanto, un rendimiento elevado. Esta serie esta cubierta hoy día por las máquinas de producción automática trabajando simultáneamente en forma más o menos sincronizada con otras. De esta forma se puede realizar al mismo tiempo un conjunto de secuencias mecánicas simples que se repiten automáticamente para cada una de las piezas a fabricar. El principal inconveniente de las máquinas de producción reside en la elevada duración de los tiempos de preparación y reglaje.

b) Series medias (entre 50 y 10 000).

Para resolver el problema de la fabricación de piezas dentro de estas series se utilizan hoy día dos tipos de máquinas:

1. Copiadoras.
2. Controles numéricos.

La selección de la máquina a utilizar dependerá de la precisión, flexibilidad y rapidez exigidas.

Cuando la precisión y el tiempo de fabricación no son factores primordiales, las copiadoras presentan la ventaja de su economía. Existen copiadoras mecánicas, hidráulicas, electromecánicas o electrónicas con las cuales la pieza que se ha de fabricar se realiza por desplazamiento del útil que reproduce exactamente el desplazamiento de un palpador.

El control numérico será especialmente interesante cuando las piezas a fabricar se mantengan en series comprendidas entre 5 y 1000 piezas que deberán ser repetidas varias veces durante el año. El control numérico dentro de este intervalo presenta notables ventajas que analizaremos posteriormente.

c) Series pequeñas (menos de 5 piezas).

Para estas series, la utilización del control numérico no suele ser rentable, a no ser que la pieza fuera bastante compleja, y que pueda efectuarse su programación con ayuda de una computadora [s]. En otro caso, los gastos de programación resultarían demasiado elevados con relación a los costos de maquinado.

Para menos de 5 piezas, los maquinados en máquinas

convencionales serán, en general, más económicos.

En la figura 4.3 se puede ver una gráfica en la que aparecen, en los ejes, el número de piezas y el precio de ejecución de una pieza.

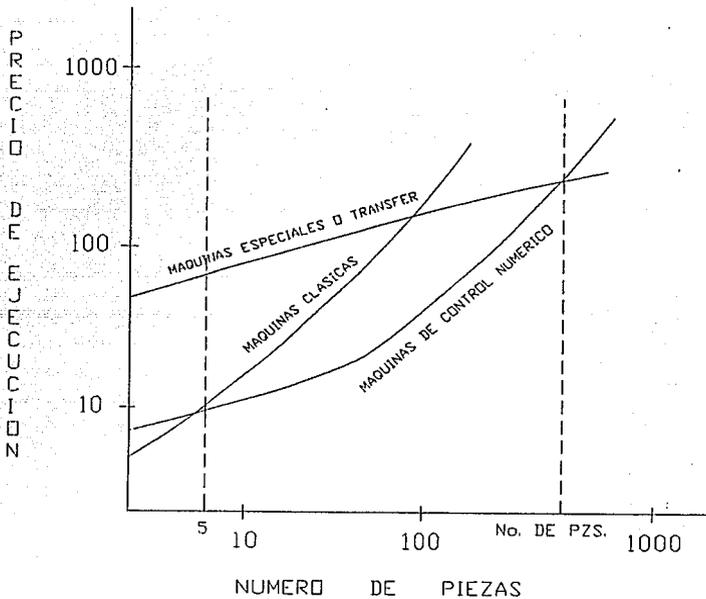


Fig. 4.3 Selección del tipo de máquina para fabricación de diferentes volúmenes de piezas.

Ventajas del control numérico.

De lo anterior se deduce que siempre que las series de fabricación se mantengan dentro de unos límites medios (5 y 1000 piezas) o que la programación de las piezas se pueda realizar por

medio de una computadora, el control numérico representa la solución ideal dadas las notables ventajas que se obtienen de su utilización. Entre estas ventajas merecen citarse las siguientes:

Posibilidad de fabricación de piezas casi imposibles o muy difíciles mediante máquinas-herramienta convencionales. Gracias al control numérico se han podido obtener piezas muy complicadas como las superficies tridimensionales necesarias en la fabricación de aviones. Es muy corriente, en construcción aeronáutica, maquinarse piezas cuyo peso final representa 1/6 del peso de la pieza bruta inicial.

Precisión. Esta ventaja se debe, en primer lugar a las tolerancias reducidas de la máquina herramienta de control numérico, respecto a las máquinas clásicas. Los juegos mecánicos son menos importantes y la máquina herramienta en su conjunto es mucho más precisa.

Otro factor que también influye en la precisión proviene del hecho de que una máquina herramienta para control numérico es, en general, más universal que las máquinas clásicas y, por tanto, podrán hacerse más operaciones con la misma máquina.

Las precisiones alcanzadas en las máquinas herramienta con control numérico van de 1 a 10 μ .

Reducción de los tiempos de ciclos operacionales. Las causas principales de la reducción al mínimo de los tiempos superfluos son:

1. Trayectorias y velocidades más ajustadas que en las máquinas convencionales.
2. Menor revisión constante de los planos y hojas de instrucciones.
3. Menor verificación de medidas entre operaciones.

Ahorro de herramientas y utillajes. El ahorro en concepto de herramientas se obtiene como consecuencia de la utilización de herramientas más universales. En cuanto al ahorro de utillajes, se obtiene por el menor número de operaciones en máquinas distintas.

Reducción del porcentaje de piezas defectuosas.

Reducción del tiempo de inspección. Dado que la probabilidad de que se produzcan piezas defectuosas dentro de una serie es menor, pueden evitarse inspecciones intermedias entre ciclos.

Clasificación de las máquinas herramientas con control numérico.

Como consecuencia de las diferentes funciones que realizan las máquinas herramientas se han originado diversos tipos de control numérico, que pueden ser clasificados en tres tipos:

- 1.- Control numérico "punto a punto".
- 2.- Control numérico "paraaxial".
- 3.- Control numérico "continuo".

El control numérico "punto a punto" controla el posicionamiento de la herramienta en los sucesivos puntos donde deben efectuarse una o varias operaciones de maquinado, ver figura 4.4. La trayectoria seguida para pasar de un punto al siguiente no tiene importancia, pues las funciones de posicionamiento y de maquinado son distintas. Como aplicaciones principales tenemos: punteadoras, taladros, punzonadoras y mandrinadoras.

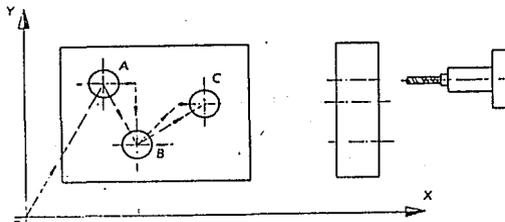


Fig. 4.4 Control numérico "punto a punto".

En el control numérico "paraaxial" es posible controlar, además de la posición del órgano móvil, la trayectoria seguida por el mismo según la dirección de algunos de los ejes coordenados, ver figura 4.5. Una aplicación corriente de este tipo de sistema, dentro de las máquinas herramienta, se halla en la taladradora-fresadora. En cualquier caso, el fresado sólo puede realizarse según trayectorias rectilíneas paralelas a alguno de los ejes coordenados.

En los sistemas de control numérico "continuo", los desplazamientos del órgano móvil son controlados en todo momento, de

manera que las posiciones sucesivas deben corresponder siempre a la trayectoria preestablecida.

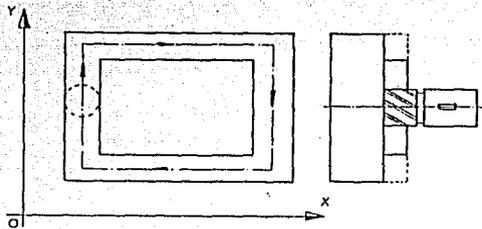


Fig. 4.5 Control numérico "paraaxial".

Se consigue este resultado relacionando entre sí los movimientos elementales realizados según los distintos ejes coordenados, de modo que estos movimientos elementales sigan cada uno una ley prescrita por una trayectoria común, ver figura 4.6. Dentro de los tipos de máquinas herramienta que utilizan este tipo de CN, tenemos fresadoras, tornos, centros de maquinado, máquinas electroerosionadoras, oxicorte, etc.

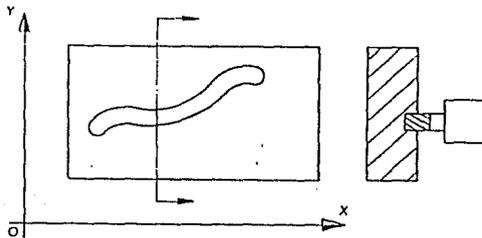


Fig. 4.6 Control numérico "continuo".

Es evidente que para que se pueda hablar de composición de movimientos resulta indispensable que el órgano móvil tenga como mínimo dos grados de libertad.

Analicemos el método que se emplea en la máquina para efectuar este tipo de desplazamiento. Las órdenes de desplazamiento son comunicadas al órgano móvil bajo la forma de componentes de un vector que permite alcanzar un punto próximo. La curva elemental descrita por este órgano será en la mayor parte de las aplicaciones un segmento de recta. Cuando se quiera seguir un perfil cualquiera, se descompondrá en segmentos elementales llamados incrementos. Su número dependerá de la precisión con que se quiera efectuar el trabajo. Si es elevada, el número de incrementos será grande.

Esta descomposición de la curva en segmentos se llama "interpolación", ver figura 4.7. Es necesario sincronizar las velocidades siguiendo las direcciones O-X y O-Y, a fin de definir correctamente los vectores VA, VB, etc. La curva real es así situada en el interior de una zona delimitada por dos curvas paralelas y donde la anchura está definida por la precisión del maquinado.

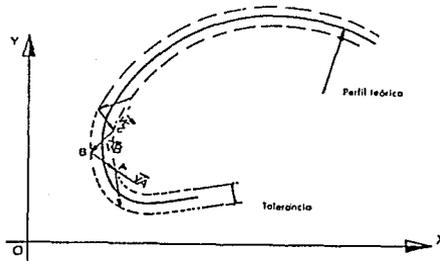


Fig. 4.7 Interpolación.

En el caso de un desplazamiento continuo en el plano, se sincronizarán dos ejes, denominándose entonces: "máquina de dos ejes", figura 4.8. Para un maquinado en el espacio se deberá utilizar una "máquina de tres ejes", figura 4.9.

De todo lo anterior, para el caso específico de la fabricación de levas, resultan claras las ventajas que puede representar el emplear máquinas de control numérico "continuo", por medio de fresadoras o centros de maquinado, para obtener levas con la calidad y precisión que se requiera. y Asimismo el poder automatizar el cálculo de trayectorias y la generación del código de control numérico.

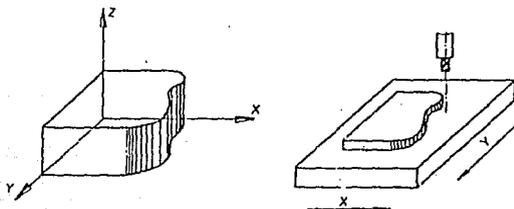


Fig. 4.8 Maquinado en el plano.

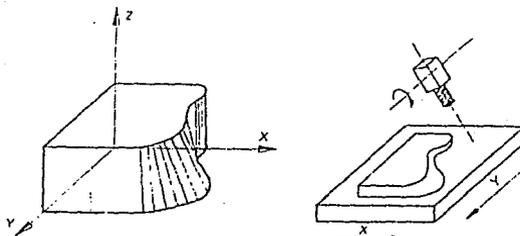


Fig. 4.9 Maquinado en el espacio.

Cálculo de trayectorias e interpolaciones.

De acuerdo al tipo de pieza que se quiera fabricar, es necesario determinar primero la trayectoria de la herramienta de corte, para posteriormente de esta manera poder obtener la pieza final. Este procedimiento se realiza de la siguiente forma en una máquina de control numérico:

1.- Hacer que una computadora calcule las coordenadas de los puntos necesarios para seguir correctamente la trayectoria en función de la precisión requerida, y dar bajo formas numéricas estas coordenadas al control numérico.

2.- El control de la máquina soporta un elemento denominado "interpolador", que efectúa el cálculo de las coordenadas y las suministra al proceso del controlador. Estas interpolaciones son de varios tipos, según las curvas que permiten realizar:

Interpolación lineal. Descompone un segmento recto. Es suficiente con indicar las coordenadas de los extremos del segmento; el equipo de control, al recibir la instrucción en forma de interpolación lineal, pasa la información a la tarjeta destinada exclusivamente a este tipo de cálculo y manda desplazar a los motores X y Y de forma sincronizada desde la posición A hasta alcanzar la posición B siguiendo una línea recta, figura 4.10.

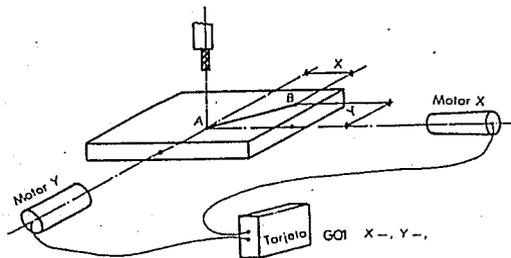


Fig. 4.10 Interpolación lineal.

Interpolación circular. Descompone un arco de circunferencia conociendo los elementos necesarios para definirlo; con frecuencia se define el arco con el punto inicial, punto final y centro. En este caso, al recibir la información en forma de interpolación circular, la tarjeta manda movimientos sincronizados a los motores X y Y teniendo en cuenta un punto (I,J), que es el centro del arco y produce una trayectoria circular, figura 4.11.

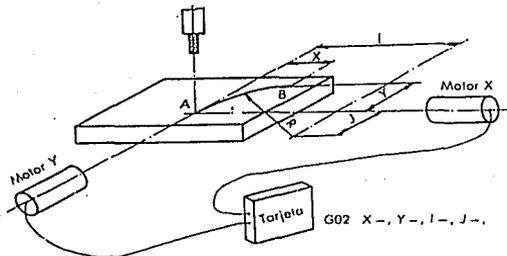


Fig. 4.11 Interpolación circular.

Código de programación.

A partir de los planos de diseño se deben cubrir las etapas necesarias para maquinarse la pieza (cálculos geométricos, proceso de maquinado, selección de herramientas, etc.) y posteriormente realizar el programa con un código que sea legible para el propio programador, así como para la máquina en cuestión.

En general, para la realización del programa es necesario conocer o establecer:

- El plano de la pieza y número de piezas, así como la lista de herramientas, para con ello establecer el proceso de maquinado.

- Las características de la máquina en lo que se refiere a: potencias, velocidades, dimensiones admisibles, precisión, etc.

- Las características del control numérico: tipo de centro (número de ejes, formato bloque, lista de funciones codificadas, etc.).

De tal manera, que al conocer está información se puede proceder a establecer la lógica del programa de maquinado.

El programa esta compuesto de una serie de bloques, cada bloque consiste de una o varias palabras, las cuales se componen de letras (direcciones), signos y cifras, como se muestra a continuación:

N4, G2, X4.3, Y4.3, Z4.3, I4.3, J4.3, K4.3, F4, S4, T2, M2, LF.

N4. Es el número de bloque desde 1 9999.

G2. Función preparatoria se expresa con dos dígitos.

X4.3 Coordenadas de desplazamientos de los ejes X,Y,Z,
Y4.3 respectivamente, expresados con un número máximo de 7 dígitos
Z4.3 (4 por delante del punto decimal y 3 por detrás).

I4.3 Empleadas en interpolación circular. Los valores programados

J4.3 bajo las direcciones I,J,K están relacionados con las

K4.3 direcciones X,Y,Z, respectivamente. Se expresan con un número máximo de 7 dígitos.

F4. Función de avance expresada con 4 dígitos.

S4. Función velocidad de giro del eje principal expresada con 4 dígitos.

T2. Función selección de herramienta expresada con 2 dígitos.

M2. Función auxiliar expresada con 2 dígitos.

LF. Fin de línea.

Este bloque de información puede variar para los diferentes tipos de máquinas y controladores, pero en forma general es el mismo para todos.

Para una máquina EMCO F1 con controlador EMCOTRONIC se tienen las siguientes características dentro del bloque:

Número de bloque. Es la primera palabra que aparece en un bloque de información y se compone de la letra N^o seguida de una cifra comprendida entre 001 y 999 como número de bloque propio. La numeración debe tener incrementos de uno en uno.

Funciones preparatorias. La función preparatoria es un número de dos dígitos precedidos por la letra G. Este código determina el modo de realizar las trayectorias. Algunas funciones G con las que cuenta este equipo son:

G00. Posicionado punto a punto.

Se hace uso de esta función para el desplazamiento de aproximación a la pieza.

G01. Interpolación lineal.

Siempre que se quiera dar a la herramienta un desplazamiento rectilíneo, debe indicarse con ayuda de esta función.

G02, G03. Interpolación circular.

De igual forma que para las funciones anteriores, estas se usan para obtener desplazamientos circulares.

El tamaño de la dimensión se define de forma análoga que para la interpolación lineal, pero considerando el radio.

Sólo es posible programar en un solo bloque recorridos de un cuarto de circunferencia.

G04. Parada programada.

G91. Programación incremental.

G92. Programación absoluta.

Función de avance. La función de velocidad de avance se programa con la letra F seguida de un número que expresa dicha velocidad en mm/min. Por ejemplo:

F 120 - corresponde a un avance de 120 mm/min.

La gama de avances que se dispone va desde 5 a 400 mm/min.

Función velocidad de giro del eje principal. La velocidad de giro se controla en este caso por medio de los controles de la máquina y se tiene una gama que va desde 300 a 2000 rpm.

Función selección de herramienta. Puesto que la máquina F1 sólo tiene un portaherramientas, esta función no se tiene y hay que realizar el cambio de herramientas manualmente.

Funciones auxiliares. La función auxiliar se compone de la letra M seguida de un número de dos dígitos. Este código hace referencia al

modo de funcionamiento de la máquina herramienta y del control numérico. Algunas de las funciones auxiliares con las que cuenta este equipo son:

M03. Giro del husillo en sentido antihorario.

M06. Cambio de herramienta.

M30. Fin de programa.

Indica que el trabajo ha finalizado y el control se posiciona en el principio del programa.

Fin de bloque. En este caso el fin de bloque se da al terminarse el número de registros en el bloque.

Programación del desplazamiento.

Si se desea moverse la herramienta de un punto p_1 a un punto p_2 , el cual tiene la posición $(-2.8, 35.06)$ expresada en milímetros, figura 4.12, se tiene que programar en centésimas de milímetro:

X 280 Y 3506 Z 0

Cabe destacar que no se pueden realizar desplazamientos en X, Y y Z simultáneamente.

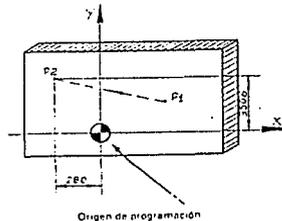


Fig. 4.12 Desplazamientos en control numérico.

Programación absoluta e incremental.

Se llama programación absoluta cuando se establecen las coordenadas de un punto, con relación al punto de origen de

programación.

Programación incremental es la que establece las coordenadas de un punto, por acumulación sobre las del punto anterior.

En el primer caso, como las coordenadas son absolutas, no existe riesgo de acumulación de errores, por lo que este sistema de programación se utiliza siempre que sea posible.

Si se desea hacer la programación absoluta, hay que iniciar el programa con la instrucción G92. Si se quiere utilizar la programación incremental, se inicia con G91. Se pueden emplear ambos sistemas de programación en un mismo programa.

Posicionamiento lineal a velocidad rápida (Instrucción G00).

La instrucción G00 permite al programador posicionar al eje de la herramienta en cualquier posición X, Y, o Z, a la velocidad máxima siempre en línea recta.

Cuando se emplee esta instrucción hay que prever una distancia de seguridad antes de que la herramienta haga contacto con la pieza. Se emplea fundamentalmente en acercamientos rápidos a la zona de trabajo, retirada al punto de cambio de herramienta y para el paso de una operación a otra.

El empleo de esta instrucción en la máquina requiere el conocimiento exacto, por parte del programador, de cualquier elemento (brida, utillaje, la propia pieza, etc.) que pueda representar un obstáculo en la trayectoria de la herramienta, con objeto de sortearlo y evitar colisiones.

Para la figura 4.13 el código de control numérico que realiza movimientos de posicionamiento en cada uno de los barrenos, en modo de programación absoluta e incremental es el siguiente:

Programación absoluta:

```
N000 G92 X 0 Y 0 Z 0
N001 G00 X 50 Y 30 Z 0
N002 G00 X 110 Y 30 Z 0
N003 G00 X 115 Y 100 Z 0
N004 G00 X 90 Y 70 Z 0
N005 G00 X 0 Y 0 Z 0
```

Programación incremental:

```
N000 G91 X 0 Y 0 Z 0
N001 G00 X 500Y 30 Z 0
N002 G00 X 60 Y 0 Z 0
N003 G00 X 5 Y Y 60 Z 0
N004 G00 X-45 Y-15 Z 0
N005 G00 X-70 Y-90 Z 0
```

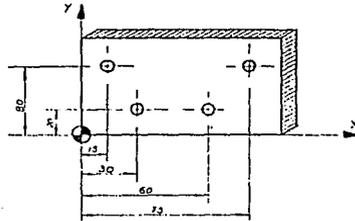


Fig. 4.13 Ejemplo de programación.

Interpolación lineal (Instrucción G01).

Con esta instrucción, el equipo de control numérico mandará a la herramienta desplazarse desde el punto en que se encuentra hasta el programado, siguiendo una trayectoria recta con el avance indicado.

Esta instrucción se emplea para operaciones de maquinado que no tengan partes curvas (fresados, taladrados, operaciones de planear, escariados, etc.).

Para la pieza de la figura 4.14 el programa en modo absoluto, siguiendo la dirección 1-2-3-4-1 y partiendo de un punto para cambio de herramienta situado en (-1,-1,1) con un avance de 120 mm/min es:

```
N000 G92 X-1000 Y-1000 Z 1000
N001 G00 X 50 Y 40 Z 1000
N002 G00 X 50 Y 40 Z 0
N003 G04 100
```

```

N004 G01 X 150 Y 40 Z 0 F 120
N005 G01 X 150 Y 100 Z 0 F 120
N006 G01 X 80 Y 100 Z 0 F 120
N007 G01 X 50 Y 40 Z 0 F 120
N008 G00 X 50 Y 40 Z 1000
N009 G00 X-1000 Y-1000 Z 1000
N010 M30

```

Este programa inicia en el bloque N000, fijando el modo de programación absoluta por medio de la instrucción G92 y estando colocada la herramienta en el punto (-1,-1,1), ya que las unidades están en milímetros. Posteriormente por medio del bloque N001 se ejecuta un movimiento rápido en el plano Z=1 mm y la herramienta se coloca en X=5 Y=4 mm. En esa posición la herramienta baja un milímetro, bloque N002. Después la herramienta se mantiene en detención por espacio de un segundo, por medio de la función G04. A partir del bloque N004 al N007 se ejecutan cortes en línea recta, instrucción G01, siguiendo el orden 1-2-3-4-1 con un avance F=120 mm/min. Después por medio de los bloques N008 y N009 la herramienta se coloca en la posición de cambio de herramienta y finalmente por medio de la función M30 del bloque N010 el programa termina.

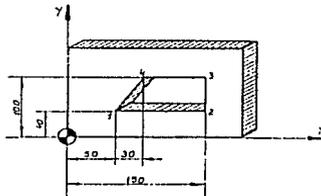


Fig. 4.14 Ejemplo de Interpolación lineal

4.4 CALCULO DE TRAYECTORIAS Y GENERACION DEL CODIGO DE CONTROL NUMERICO PARA LEVAS.

Para poder fabricar una leva por medio de una máquina de control numérico, es necesario entonces determinar inicialmente la trayectoria de la herramienta de corte para poder generar el código

de control numérico.

Para el caso de levas de disco se han determinado las ecuaciones en coordenadas polares (p,yc) para el cálculo de la trayectoria del cortador y las cuales se presentan en la Tabla III, la obtención de estas ecuaciones se pueden consultar en [8] [15]. Con estas ecuaciones al evaluarlas se obtienen las trayectorias de corte con incrementos de un grado, el cual nos puede proporcionar una adecuada exactitud [2].

Al tenerse la trayectoria de corte, se generará el código de control numérico empleando instrucciones G01 del código de control numérico y de esta forma se obtiene el perfil de la leva. Cabe destacar que la generación del código de control numérico con este tipo de instrucción resulta ser sencilla y rápida.

4.5 EJEMPLO DE APLICACION.

Para el ejemplo de la sección 2.6 y 3.4 se obtiene la trayectoria de corte y el código de control numérico. Para lo cual es necesario establecer algunos parámetros como el radio del cortador, que para este caso se toma de 6.35 mm y un avance de 120 mm/min considerando que se tiene aluminio como material para la leva. Con lo cual en la figura 4.15 se muestra la trayectoria de corte y el perfil de la leva, para el caso en que se emplea el diagrama de desplazamientos con funciones polinomiales. Además se muestran los listados del código de control numérico para la leva con los dos diagramas de desplazamiento de la sección 2.6. y los cuales emplean básicamente instrucciones G01 con incrementos de un grado.

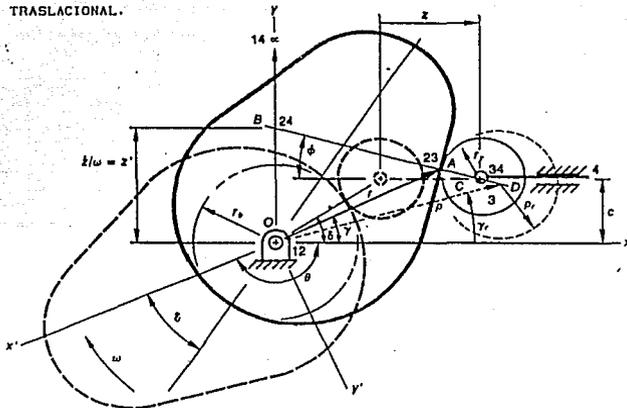
TABLA III

LEVA CON SEGUIDOR DE CARRETILLA TRASLACIONAL.

TRAYECTORIA DEL CORTADOR.

$$p = \{(r_b + z + p_c)^2 + z'^2\}^{1/2}$$

$$y_c = \tan^{-1} \left[\frac{z'}{r_b + z + p_c} \right]$$



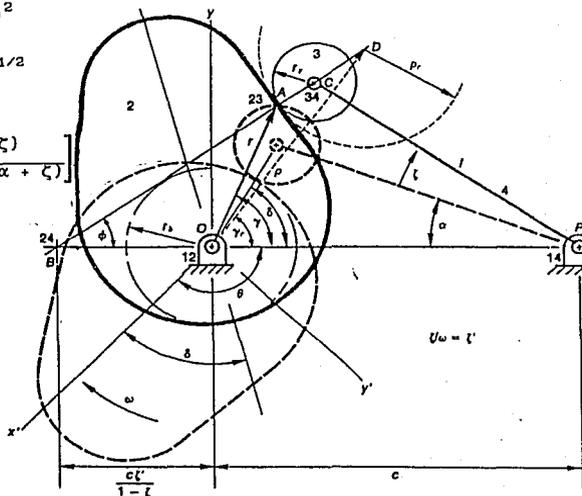
LEVA CON SEGUIDOR DE CARRETILLA OSCILATORIO.

TRAYECTORIA DEL CORTADOR.

$$p = \{(c + (p_c - a)\text{sen}(\alpha + \zeta) - b\text{cos}(\alpha + \zeta))\}^2$$

$$\{(p_c - a)\text{cos}(\alpha + \zeta) + b\text{sen}(\alpha + \zeta)\}^2\}^{1/2}$$

$$y_c = \tan^{-1} \left[\frac{(p_c - a)\text{cos}(\alpha + \zeta) + b\text{sen}(\alpha + \zeta)}{c + (p_c - a)\text{sen}(\alpha + \zeta) - b\text{cos}(\alpha + \zeta)} \right]$$



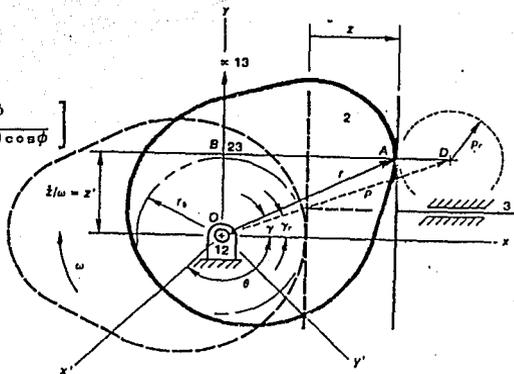
LEVA CON SEGUIDOR DE CARA PLANA TRASLACIONAL.

TRAYECTORIA DEL SEGUIDOR.

$$p = ((r_b + r_r) \cos \delta + z + (p_c - r_r) \cos \phi)^2$$

$$+ ((r_b + r_r) \operatorname{sen} \delta - (p_c - r_r) \operatorname{sen} \phi)^2)^{1/2}$$

$$y_c = \tan^{-1} \left[\frac{(r_b + r_r) \operatorname{sen} \delta - (p_c - r_r) \operatorname{sen} \phi}{(r_b + r_r) \cos \delta + z + (p_c - r_r) \cos \phi} \right]$$



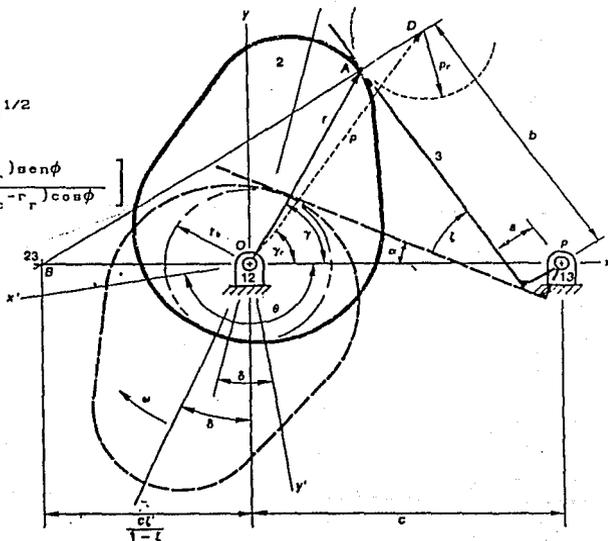
LEVA CON SEGUIDOR DE CARA PLANA OSCILATORIO.

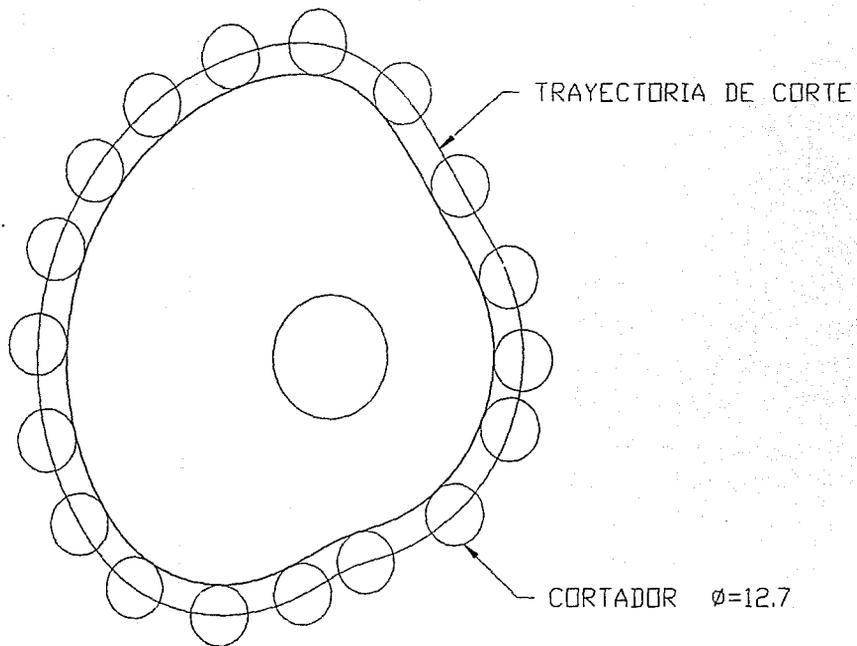
TRAYECTORIA DEL SEGUIDOR.

$$p = ((c - l \cos(\alpha + \zeta) + (p_c - r_r) \cos \phi)^2$$

$$+ (l \operatorname{sen}(\alpha + \zeta) + (p_c - r_r) \operatorname{sen} \phi)^2)^{1/2}$$

$$y_c = \tan^{-1} \left[\frac{l \operatorname{sen}(\alpha + \zeta) + (p_c - r_r) \operatorname{sen} \phi}{c - l \cos(\alpha + \zeta) + (p_c - r_r) \cos \phi} \right]$$





ESCALA: 1:1

10/4/92

MATERIAL: ALUMINIO



FIG. 4.15 LEVA POLINOMIAL
TRAYECTORIA DEL CORTADOR

TOL. 40 ESP. LÍNEA 4/7
ANGULAR 4/7



F. I.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
CAD-CAM-CAE

Nd.

		CODIGO DE CONTROL NUMERICO LEVA POLINOMIAL					
N - G-	X - Y -	Z - F	N - G-	X - Y -	Z - F		
000 92-	1000-1000	1000	057 01-	3345 5561-	500 120		
001 00	3787	0 1000	058 01-	3537 5441-	500 120		
002 00	3787	0 100	059 01-	3725 5314-	500 120		
003M03			060 01-	3908 5181-	500 120		
004 01	3787	0- 500 50	061 01-	4086 5042-	500 120		
005 04	100		062 01-	4260 4896-	500 120		
006 01	3719 2025-	500 120	063 01-	4428 4744-	500 120		
007 01	3647 2156-	500 120	064 01-	4591 4587-	500 120		
008 01	3573 2284-	500 120	065 01-	4748 4424-	500 120		
009 01	3497 2413-	500 120	066 01-	4900 4255-	500 120		
010 01	3419 2541-	500 120	067 01-	5045 4082-	500 120		
011 01	3341 2671-	500 120	068 01-	5184 3903-	500 120		
012 01	3261 2802-	500 120	069 01-	5318 3720-	500 120		
013 01	3181 2934-	500 120	070 01-	5444 3532-	500 120		
014 01	3100 3069-	500 120	071 01-	5564 3340-	500 120		
015 01	3018 3207-	500 120	072 01-	5677 3144-	500 120		
016 01	2936 3347-	500 120	073 01-	5783 2944-	500 120		
017 01	2852 3489-	500 120	074 01-	5883 2740-	500 120		
018 01	2766 3633-	500 120	075 01-	5975 2533-	500 120		
019 01	2680 3780-	500 120	076 01-	6059 2323-	500 120		
020 01	2591 3928-	500 120	077 01-	6137 2110-	500 120		
021 01	2501 4077-	500 120	078 01-	6207 1895-	500 120		
022 01	2408 4226-	500 120	079 01-	6269 1677-	500 120		
023 01	2314 4376-	500 120	080 01-	6324 1457-	500 120		
024 01	2217 4525-	500 120	081 01-	6371 1235-	500 120		
025 01	2117 4673-	500 120	082 01-	6410 1012-	500 120		
026 01	2015 4819-	500 120	083 01-	6441 788-	500 120		
027 01	1909 4962-	500 120	084 01-	6465 563-	500 120		
028 01	1800 5101-	500 120	085 01-	6481 337-	500 120		
029 01	1687 5237-	500 120	086 01-	6489 110-	500 120		
030 01	1571 5367-	500 120	087 01-	6488- 116-	500 120		
031 01	1450 5492-	500 120	088 01-	6480- 342-	500 120		
032 01	1324 5611-	500 120	089 01-	6465- 568-	500 120		
033 01	1193 5724-	500 120	090 01-	6441- 794-	500 120		
034 01	1056 5829-	500 120	091 01-	6409-1018-	500 120		
035 01	914 5927-	500 120	092 01-	6370-1241-	500 120		
036 01	766 6016-	500 120	093 01-	6323-1463-	500 120		
037 01	612 6096-	500 120	094 01-	6268-1682-	500 120		
038 01	452 6168-	500 120	095 01-	6205-1900-	500 120		
039 01	285 6230-	500 120	096 01-	6135-2115-	500 120		
040 01	111 6282-	500 120	097 01-	6057-2328-	500 120		
041 01-	68 6324-	500 120	098 01-	5973-2538-	500 120		
042 01-	254 6355-	500 120	099 01-	5880-2745-	500 120		
043 01-	446 6375-	500 120	100 01-	5781-2949-	500 120		
044 01-	643 6384-	500 120	101 01-	5674-3149-	500 120		
045 01-	845 6382-	500 120	102 01-	5561-3345-	500 120		
046 01-	1052 6369-	500 120	103 01-	5441-3537-	500 120		
047 01-	1261 6344-	500 120	104 01-	5312-3725-	500 120		
048 01-	1474 6307-	500 120	105 01-	5171-3910-	500 120		
049 01-	1687 6260-	500 120	106 01-	5015-4091-	500 120		
050 01-	1902 6202-	500 120	107 01-	4842-4267-	500 120		
051 01-	2116 6134-	500 120	108 01-	4650-4436-	500 120		
052 01-	2328 6057-	500 120	109 01-	4439-4597-	500 120		
053 01-	2538 5973-	500 120	110 01-	4209-4747-	500 120		
054 01-	2745 5880-	500 120	111 01-	3960-4882-	500 120		
055 01-	2949 5781-	500 120	112 01-	3694-5000-	500 120		
056 01-	3149 5674-	500 120	113 01-	3414-5099-	500 120		

N	G	X	Y	Z	F
114	01	3123	5175	500	120
115	01	2825	5227	500	120
116	01	2523	5254	500	120
117	01	2224	5256	500	120
118	01	1930	5234	500	120
119	01	1646	5190	500	120
120	01	1376	5128	500	120
121	01	1121	5050	500	120
122	01	884	4961	500	120
123	01	664	4865	500	120
124	01	462	4766	500	120
125	01	276	4669	500	120
126	01	103	4575	500	120
127	01	58	4488	500	120
128	01	211	4409	500	120
129	01	357	4339	500	120
130	01	500	4278	500	120
131	01	642	4226	500	120
132	01	783	4180	500	120
133	01	924	4138	500	120
134	01	1067	4099	500	120
135	01	1209	4059	500	120
136	01	1350	4014	500	120
137	01	1489	3965	500	120
138	01	1626	3910	500	120
139	01	1762	3851	500	120
140	01	1895	3787	500	120
141	01	2026	3719	500	120
142	01	2155	3646	500	120
143	01	2281	3568	500	120
144	01	2404	3487	500	120
145	01	2524	3401	500	120
146	01	2641	3310	500	120
147	01	2755	3216	500	120
148	01	2866	3118	500	120
149	01	2973	3016	500	120
150	01	3076	2911	500	120
151	01	3176	2802	500	120
152	01	3272	2689	500	120
153	01	3364	2573	500	120
154	01	3451	2454	500	120
155	01	3535	2332	500	120
156	01	3614	2207	500	120
157	01	3689	2080	500	120
158	01	3759	1950	500	120
159	01	3825	1818	500	120
160	01	3886	1683	500	120
161	01	3943	1546	500	120
162	01	3994	1408	500	120
163	01	4041	1268	500	120
164	01	4083	1126	500	120
165	01	4119	983	500	120
166	01	4151	838	500	120
167	01	4178	693	500	120
168	01	4200	547	500	120
169	01	4216	400	500	120
170	01	4227	252	500	120
171	01	4234	105	500	120

N	G	X	Y	Z	F
172	01	4235	43	500	120
173	01	4231	191	500	120
174	01	4221	338	500	120
175	01	4207	486	500	120
176	01	4188	632	500	120
177	01	4163	778	500	120
178	01	4133	923	500	120
179	01	4099	1066	500	120
180	01	4059	1209	500	120
181	01	4014	1350	500	120
182	01	3965	1489	500	120
183	01	3910	1626	500	120
184	01	3851	1762	500	120
185	01	3787	0	500	120
185	00	3787	0	1000	
186	00	1000	1000	1000	
187	M30				

CODIGO DE CONTROL NUMERICO LEVA CICLOIDAL

N - G-	X - Y -	Z - F	N - G-	X - Y -	Z - F
000 92-	1000-1000	1000	058 01-	3537 5441-	500 120
001 00	3787 0	1000	059 01-	3725 5314-	500 120
002 00	3787 0	100	060 01-	3908 5181-	500 120
003M03			061 01-	4086 5042-	500 120
004 01	3787 0-	500 50	062 01-	4260 4896-	500 120
005 04	100		063 01-	4428 4744-	500 120
006 01	3719 2026-	500 120	064 01-	4591 4587-	500 120
007 01	3647 2156-	500 120	065 01-	4748 4424-	500 120
008 01	3572 2283-	500 120	066 01-	4900 4255-	500 120
009 01	3494 2410-	500 120	067 01-	5045 4082-	500 120
010 01	3415 2537-	500 120	068 01-	5184 3903-	500 120
011 01	3334 2664-	500 120	069 01-	5318 3720-	500 120
012 01	3252 2792-	500 120	070 01-	5444 3532-	500 120
013 01	3169 2922-	500 120	071 01-	5564 3340-	500 120
014 01	3086 3053-	500 120	072 01-	5677 3144-	500 120
015 01	3001 3187-	500 120	073 01-	5783 2944-	500 120
016 01	2916 3324-	500 120	074 01-	5883 2740-	500 120
017 01	2831 3464-	500 120	075 01-	5975 2533-	500 120
018 01	2744 3606-	500 120	076 01-	6059 2323-	500 120
019 01	2656 3751-	500 120	077 01-	6137 2110-	500 120
020 01	2568 3899-	500 120	078 01-	6207 1895-	500 120
021 01	2478 4048-	500 120	079 01-	6269 1677-	500 120
022 01	2387 4199-	500 120	080 01-	6324 1457-	500 120
023 01	2294 4351-	500 120	081 01-	6371 1235-	500 120
024 01	2199 4504-	500 120	082 01-	6410 1012-	500 120
025 01	2102 4655-	500 120	083 01-	6441 788-	500 120
026 01	2003 4805-	500 120	084 01-	6465 563-	500 120
027 01	1902 4953-	500 120	085 01-	6481 337-	500 120
028 01	1797 5097-	500 120	086 01-	6489 110-	500 120
029 01	1689 5238-	500 120	087 01-	6488- 116-	500 120
030 01	1576 5373-	500 120	088 01-	6480- 342-	500 120
031 01	1460 5503-	500 120	089 01-	6465- 568-	500 120
032 01	1338 5626-	500 120	090 01-	6441- 794-	500 120
033 01	1211 5742-	500 120	091 01-	6409-1018-	500 120
034 01	1078 5850-	500 120	092 01-	6370-1241-	500 120
035 01	938 5950-	500 120	093 01-	6323-1463-	500 120
036 01	792 6041-	500 120	094 01-	6268-1682-	500 120
037 01	639 6122-	500 120	095 01-	6205-1900-	500 120
038 01	478 6194-	500 120	096 01-	6135-2115-	500 120
039 01	311 6255-	500 120	097 01-	6057-2328-	500 120
040 01	136 6306-	500 120	098 01-	5973-2538-	500 120
041 01-	46 6346-	500 120	099 01-	5880-2745-	500 120
042 01-	235 6375-	500 120	100 01-	5781-2949-	500 120
043 01-	430 6392-	500 120	101 01-	5674-3149-	500 120
044 01-	630 6399-	500 120	102 01-	5561-3345-	500 120
045 01-	835 6394-	500 120	103 01-	5441-3537-	500 120
046 01-	1045 6377-	500 120	104 01-	5313-3725-	500 120
047 01-	1257 6350-	500 120	105 01-	5174-3909-	500 120
048 01-	1471 6311-	500 120	106 01-	5021-4090-	500 120
049 01-	1686 6262-	500 120	107 01-	4853-4265-	500 120
050 01-	1901 6203-	500 120	108 01-	4688-4435-	500 120
051 01-	2116 6135-	500 120	109 01-	4463-4597-	500 120
052 01-	2328 6057-	500 120	110 01-	4238-4748-	500 120
053 01-	2538 5973-	500 120	111 01-	3993-4886-	500 120
054 01-	2745 5880-	500 120	112 01-	3730-5007-	500 120
055 01-	2949 5781-	500 120	113 01-	3450-5109-	500 120
056 01-	3149 5674-	500 120	114 01-	3156-5187-	500 120

N - G -	X - Y -	Z - F
116 01-	2544-5237-	500 120
117 01-	2237-5266-	500 120
118 01-	1935-5239-	500 120
119 01-	1645-5188-	500 120
120 01-	1369-5118-	500 120
121 01-	1111-5032-	500 120
122 01-	872-4935-	500 120
123 01-	654-4833-	500 120
124 01-	454-4731-	500 120
125 01-	270-4632-	500 120
126 01-	101-4540-	500 120
127 01	58-4456-	500 120
128 01	209-4383-	500 120
129 01	355-4319-	500 120
130 01	498-4264-	500 120
131 01	640-4217-	500 120
132 01	782-4175-	500 120
133 01	924-4137-	500 120
134 01	1067-4099-	500 120
135 01	1209-4059-	500 120
136 01	1350-4014-	500 120
137 01	1489-3965-	500 120
138 01	1626-3910-	500 120
139 01	1762-3851-	500 120
140 01	1895-3787-	500 120
141 01	2026-3719-	500 120
142 01	2155-3645-	500 120
143 01	2281-3568-	500 120
144 01	2404-3487-	500 120
145 01	2524-3401-	500 120
146 01	2641-3310-	500 120
147 01	2755-3216-	500 120
148 01	2866-3118-	500 120
149 01	2973-3016-	500 120
150 01	3076-2911-	500 120
151 01	3176-2802-	500 120
152 01	3272-2689-	500 120
153 01	3364-2573-	500 120
154 01	3451-2454-	500 120
155 01	3535-2332-	500 120
156 01	3614-2207-	500 120
157 01	3689-2080-	500 120
158 01	3759-1950-	500 120
159 01	3825-1818-	500 120
160 01	3886-1683-	500 120
161 01	3943-1546-	500 120
162 01	3994-1408-	500 120
163 01	4041-1268-	500 120
164 01	4083-1126-	500 120
165 01	4119- 983-	500 120
166 01	4151- 838-	500 120
167 01	4178- 693-	500 120
168 01	4200- 547-	500 120
169 01	4216- 400-	500 120
170 01	4227- 252-	500 120
171 01	4234- 105-	500 120
172 01	4235 43-	500 120
173 01	4231 191-	500 120

N - G-	X - Y -	Z - F
174 01	4221 338-	500 120
175 01	4207 486-	500 120
176 01	4188 632-	500 120
177 01	4163 778-	500 120
178 01	4133 923-	500 120
179 01	4099 1066-	500 120
180 01	4059 1209-	500 120
181 01	4014 1350-	500 120
182 01	3965 1489-	500 120
183 01	3910 1626-	500 120
184 01	3851 1762-	500 120
185 01	3787 0-	500 120
185 00	3787 0	1000
186 00-	1000-1000	1000

187M30

CAPITULO 5

SISTEMA DIMALEV

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

5.1 INTRODUCCION.

El uso de sistemas comerciales de diseño y manufactura auxiliado por computadora han experimentado un crecimiento explosivo en nuestro país desde su introducción en Universidades y Empresas en 1985. Existen diversos factores que han estimulado dicho crecimiento, por ejemplo, la aplicación de la computadora ha dejado de ser privativa de un número reducido de expertos y dado el alto nivel de competitividad en el mercado nacional e internacional, las compañías necesitan abatir sus tiempos de diseño y manufactura con altos niveles de calidad.

En el campo del análisis y síntesis de sistemas mecánicos el empleo de la computadora ha enriquecido también esta área, de tal forma que las complejas técnicas numéricas para el diseño y manufactura de levas, vertidas en los capítulos anteriores, pueden ser integradas, formando con esto programas de aplicación para realizar en forma más rápida y precisa el diseño, análisis y fabricación de un sistema leva-seguidor.

Los programas de aplicación se realizan con ayuda de lenguajes de alto nivel que se utilizan en la mayoría de las áreas de diseño y manufactura por computadora. Los lenguajes de alto nivel más utilizados en programas de CAD son Fortran, Pascal y C. Asimismo se puede utilizar para aplicaciones sencillas Basic compilado, el cual resulta ser un lenguaje muy popular, barato y versátil.

5.2 DISEÑO DE MECANISMOS POR COMPUTADORA.

La aplicación de la computadora a problemas de mecanismos tiene una corta historia. La evolución empieza desde análisis en mainframes hasta llegar a realizar diseños en computadoras personales. En la figura 5.1 se muestra una reseña histórica de la aplicación de la computadora a la teoría de máquinas y mecanismos. De hecho el análisis de mecanismos por computadora nace alrededor

<i>GRAFICOS POR COMPUTADORA</i>	* CONCEPTO DE LAPIZ OPTICO	*SISTEMAS DOMESTICOS (INDUSTRIA)	*GRAFICACION DE BARRIDO	* MODELADO DE SOLIDOS
<i>ELEMENTO FINITO</i>	*PROGRAMAS DOMESTICOS (INDUSTRIA)	* PRINCIPIO DE PROGRAMAS COMERCIALES	* PRE Y POSTPROCESADORES	*INTEGRACION CAD
<i>ANALISIS DE MECANISMOS</i>	PROGRAMAS DOMESTICOS (UNIV.) *DINAMICA Y DISEÑO DE LEVAS	* BALANCEO DE MECANISMOS, SIGNIFICATIVOS USOS IND.	*INICIO DE PAQUETES GENERALES	* NUMEROSOS PAQUETES COMERCIALES
<i>SINTESIS DE MECANISMOS</i>	* SINTESIS DEL PRIMER MEC. DE CUATRO BARRAS * MECANISMOS ACOPLADOS	*GRAFICAS INTERACTIVAS	* USO INDUSTRIAL SERIO	* PROGRAMAS DE MICROCOMPUTADORAS
<i>OPTIMIZACION DE MECANISMOS</i>	* PRIMERAS ACTIVIDADES	* INCREMENTO DE ACTIVIDADES		* RENACIMIENTO DE INTERES
<i>MECANISMOS DE ALTA VELOCIDAD</i>	* MECANISMOS PARCIALMENTE FLEXIBLES	*USO DE LA TEORIA DE ELEMENTO FINITO		* MAS SERIO INTERES INDUSTRIAL
<i>FORMA DE SINTESIS</i>		* ENUMERACION POR COMPUTADORA		*USO DE SISTEMAS EXPERTOS
<i>INTEGRACION CAD</i>		* INCREMENTO DE ACTIVIDADES		* IDENTIFICACION DE NECESIDADES IMPORTANTES * C A D

1951

1960

1970

1980

1990

FIG. 5.1 Diseño de mecanismos por computadora

de 1950 con la generación de programas que calculaban posición, velocidad y aceleración en mecanismos de retorno rápido. Asimismo es en 1956 que aparece el primer programa para diseño de levas por computadora. En la década de los 60's empieza la utilización de la computadora para resolver ecuaciones que resultaban muy tediosas por técnicas gráficas y los problemas de síntesis se resuelven en modo batch en computadoras empleando técnicas de optimización. En la década de los 70's aparecen diversos programas como IMP, DRAM, ADAMS y KINSYN I, para el análisis y síntesis de mecanismos. Apartir de 1980, la microcomputadora toma un papel más importante en el diseño de mecanismos y se empiezan a realizar animaciones en 3D, cálculos de interferencias y análisis de respuesta dinámica. Asimismo los diseñadores de programas integran el análisis, síntesis y dinámica de mecanismos con el dibujo, análisis de elemento finito y programas de simulación. En la década de los 90's la integración de la computadora al diseño de mecanismos se mira muy excitante. Los diseñadores de mecanismos tienen disponibles un conjunto impresionante de herramientas para realizar análisis y síntesis óptimos de mecanismos. Varias áreas verán incrementar su actividad. Estas áreas son, por ejemplo, el uso de modeladores de sólidos para el despliegue y análisis de mecanismos bidimensionales y tridimensionales, integración de paquetes de análisis y síntesis de mecanismos en las fases de diseño y manufactura asistido por computadora, mayor cantidad de aplicaciones a necesidades específicas de la industria, más análisis y síntesis asistidos por computadora para elementos de máquinas: engranes, levas, etc., mejores técnicas de análisis y simulación para problemas complejos, el desarrollo de técnicas de síntesis incluyendo sistemas expertos y técnicas de inteligencia artificial, incremento de paquetes de diseño de mecanismos en desktop, laptops y microcomputadoras, finalmente el uso de supercomputadoras que permitan diseños a gran escala, optimización, procesamiento paralelo y simulación.

En el análisis y síntesis de mecanismos la computadora puede ser de gran ayuda en muchos casos. Sin embargo, la computadora no puede realizar todo el trabajo completo y por lo cual se requiere

un conjunto de pasos para poder obtener los mejores resultados al resolver un problema de máquinas o mecanismos. Los pasos a seguir son:

1. Definición del problema. Esta es la tarea de determinar que problemas se quiere resolver y que información está disponible para comenzar la solución.
2. Solución conceptual. Basado en la información existente es posible entonces escribir las ecuaciones cinemáticas que rigen el comportamiento del mecanismo en base a sus características geométricas. Es posible entonces manipular estas ecuaciones matemáticamente para poder establecer un conjunto nuevo de ecuaciones que pueden servir para el trabajo computacional posterior.
3. Implementación computacional. En esta etapa es en la que se pueden escribir y ejecutar programas de computadora. Si los pasos anteriores se realizaron satisfactoriamente este proceso se realizará rápida y fácilmente.
4. Interpretación de resultados. Está es la parte esencial de cualquier análisis o síntesis de un mecanismo, puesto que esta actividad tiene un objetivo y es en esta etapa en la que se verifica si dicho objetivo se cumple o no, con lo cual es necesario repetir el proceso o documentar las conclusiones.

Dentro de este proceso, en tiempo atrás el paso 3 requería bastante tiempo, en la actualidad con el auge de la computadora este paso no requiere más tiempo que cualquiera de los otros.

5.3 ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE DISEÑO Y MANUFACTURA DE LEVAS.

La estructura del sistema de diseño y manufactura de levas DYMALÉV creado en base a lo expuesto en capítulos anteriores se describe en la figura 5.2. Este sistema esta compuesto de tres partes: formación del diagrama de desplazamientos, diseño del perfil y manufactura del perfil de la leva.

La formación del diagrama de desplazamientos se realiza observando y seleccionando las diferentes curvas dentro del programa e introduciendo el ángulo de rotación y la elevación para cada curva cicloidal, armónica o polinomial seleccionada. Después

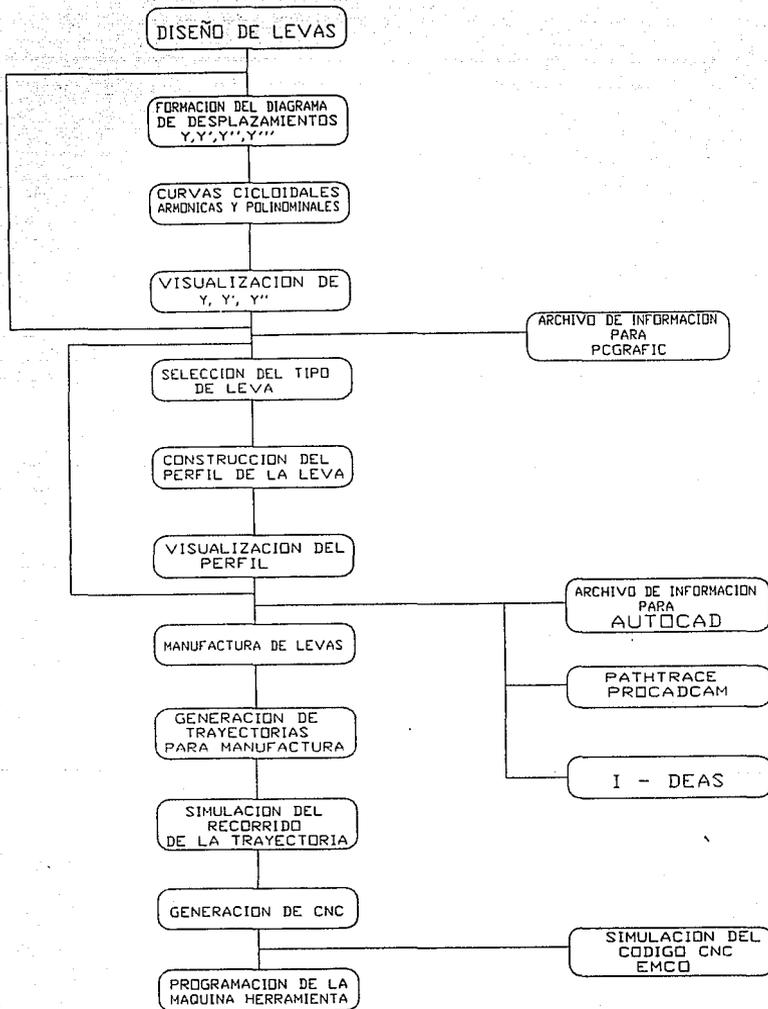


FIG. 5.2 Estructura del sistema DIMALEV.

de haber formado el diagrama de desplazamientos se pueden visualizar las curvas de posición, velocidad y aceleración, obteniéndose también los valores máximos y mínimos de cada una de estas variables. Además se genera un archivo de datos en código ASCII para el programa PCGRAFICS, programa diseñado por el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., u otros con el cual se puede manipular esta información.

En la parte del diseño del perfil se selecciona el tipo de seguidor que tendrá la leva, pudiendo ser translacional u oscilatorio de cara plana o de carretilla. Para lo cual es necesario introducir datos como el radio de base, radio de la carretilla, excentricidad, etc. Con esto es posible observar el perfil de la leva y detectar si existen problemas como puntas y por lo cual se deban de cambiar los valores de entrada. También es posible generar archivos del tipo Script que puede reconocer Autocad y con lo cual poder realizar el diseño del mamelón de la leva, cuñeros, etc. Este tipo de archivos con las coordenadas de los puntos del perfil se envían a sistemas de manufactura asistida por computadora (CAM) como Pathtrace o Procadcam donde se puede obtener el código de control numérico para el perfil o generar archivos DXF para exportar la información total de todo el sistema.

Por último la parte de manufactura genera la trayectoria de la herramienta de corte y el código de control numérico para poder fabricar la pieza. Este código puede modificarse para diferentes tipos de máquina y los cambios son mínimos. El código generado se puede enviar al simulador CNC-EMCO en donde se simula cada una de las instrucciones del programa y se puede visualizar la pieza a obtener. Finalmente lo que resta es programar la máquina y realizar el maquinado para obtener la pieza final.

El sistema DIMALEV, implantado en QuickBASIC 4.5, ha sido desarrollado para funcionar en una microcomputadora del tipo PC compatible con IBM, con memoria mínima de 256 KB, un monitor monocromático o de color de alta resolución y sistema operativo DOS 3.3 o mayor.

5.4 MODULO DE DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTOS.

El módulo de diagramas de desplazamiento esta compuesto básicamente por las ecuaciones de la Tabla I del capítulo 2 y principalmente consiste en la evaluación de cada una de estas ecuaciones de acuerdo a la curva seleccionada. Por tanto, al ser seleccionada una curva, de las 21 existentes, se tiene dentro del programa:

```
2501 CLS
      LINE (10, 4)-(630, 348), , B
      LINE (12, 6)-(628, 346), , B
      LOCATE 10, 8
INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO DEL DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTOS: "; BASE$
      OPEN BASE$ FOR OUTPUT AS #3
      LOCATE 12, 20
      PRINT "      ESPERE UN MOMENTO....."
      LOCATE 16, 27
      DEG.INC = 1
      ND1 = 360 / DEG.INC
      ND = ND1 - 1
      pi = 4 * ATN(1)
      f1 = 180 / pi
      f2 = f1 ^ 2
      inic = 0
      FIN = 0 - DEG.INC
      FOR J = 1 TO NN
      FIN = BETA(J) + FIN
      YS = 0
      H = 0
      IF TC(J) = 1 THEN 3000
      IF TC(J) = 2 THEN 3100
      IF TC(J) = 21 THEN 5000
3000 'CURVA C1 MOVIMIENTO ARMONICO SIMPLE DE SUBIDA COMPLETA 6-18
      tsb = 0
      FOR theta = inic TO FIN STEP DEG.INC
      y = (L(J) / 2) * (1 - COS(pi * tsb))
      yp = ((pi * L(J) / (2 * BETA(J))) * SIN(pi * tsb)) * f1
      ypp = (pi ^ 2 * L(J) / (2 * BETA(J) ^ 2) * COS(pi * tsb)) * f2
      PRINT #3, theta, y, yp, ypp
      tsb = tsb + DEG.INC / BETA(J)
      NEXT theta
      GOTO 7000
3100 'CURVA C2 MOVIMIENTO ARMONICO SIMPLE DE SUBIDA COMPLETA 6-19
      tsb = 0
      FOR theta = inic TO FIN STEP DEG.INC
      y = L(J) * (tsb - (1 / (2 * pi)) * SIN(2 * pi * tsb))
      yp = ((L(J) / BETA(J)) * (1 - COS(2 * pi * tsb))) * f1
      ypp = ((2 * pi * L(J) / BETA(J) ^ 2) * SIN(2 * pi * tsb)) * f2
      PRINT #3, theta, y, yp, ypp
      tsb = tsb + DEG.INC / BETA(J)
```

```

NEXT theta
GOTO 7000
7000 inic = FIN + DEG.INC
    IF IDENT(J) = 1 THEN 7005
    YMAX = L(J) + YMAX
    GOTO 7006
7005 YMAX = YS
7006 NEXT J
    CLOSE #3

```

En el listado anterior se puede observar que simplemente es seleccionar el número de curva y el programa realiza la evaluación de las ecuaciones de posición (y), velocidad (yp) y aceleración (ypp), toda esta información es almacenada en el archivo de datos con el nombre que tenga la variable BASE\$ y mandando el control a la etiqueta 7000 para revisar cuantas curvas faltan por evaluar de acuerdo al ciclo que es controlado por J y en caso contrario terminar y cerrar el archivo BASE\$. Cada una de las ecuaciones es evaluada de acuerdo al valor del parámetro TSB que varía de 0 a 1 y el cual es la relación entre el ángulo de rotación de la leva y el ángulo β de la curva seleccionada.

5.5 MODULO DE DISEÑO DE PERFILES.

Este módulo está compuesto de las ecuaciones de la Tabla II del capítulo 3 y similarmente como sucede con el módulo anterior, éste consiste en la evaluación de las ecuaciones de acuerdo al tipo de leva seleccionado y su posterior graficación, para observar el perfil de la leva y evaluarla para ver si cumple con las características deseadas. Este módulo ejemplificando las ecuaciones de una leva con seguidor translacional de carretilla se muestra enseguida:

```

14000 'SUBROUTINA PARA EL CALCULO DEL PERFIL DE LA LEVA
      CLS
      SCREEN 9: COLOR 15, 1
      LINE (10, 4)-(630, 348), , B
      LINE (12, 6)-(628, 346), , B
      LOCATE 8, 33
      PRINT " TIPOS DE SEGUIDORES"
      LOCATE 9, 23
      PRINT "1 LEVA CON SEGUIDOR DE CARA PLANA "
      LOCATE 10, 23
      PRINT "2 LEVA CON SEGUIDOR DE CARRETILLA "

```

```

LOCATE 11, 23
PRINT "3 LEVA CON SEGUIDOR OSCILANTE DE CARA PLANA "
LOCATE 12, 23
PRINT "4 LEVA CON SEGUIDOR OSCILANTE DE RODILLO "
35525 LOCATE 13, 34
PRINT " "
LOCATE 13, 34: INPUT "SELECCIONE LA OPCION"; TS1$
IF VAL(TS1$) = 0 THEN 35525
TS = VAL(TS1$)
IF TS <= 0 OR TS >= 5 THEN 35525
14190 REM proceso de verificacion
IF TS = 1 THEN 14200
IF TS = 2 THEN 14300
IF TS = 3 THEN 14400
IF TS = 4 THEN 14500
14300 'DATOS DE ENTRADA PARA UNA LEVA DEL TIPO 2
LINE (10, 4)-(630, 348), , B
LINE (12, 6)-(628, 346), , B
35528 LOCATE 14, 23
PRINT " "
LOCATE 14, 23: INPUT "DAME EL RADIO DE BASE RO"; RO1$
IF VAL(RO1$) = 0 THEN 35528
RO = VAL(RO1$)
35529 LOCATE 15, 23
PRINT " "
LOCATE 15, 23
INPUT "DAME EL RADIO DE LA CARRETILLA RR"; RR1$
IF VAL(RR1$) = 0 THEN 35529
RR = VAL(RR1$)
35530 LOCATE 16, 23
PRINT " "
LOCATE 16, 23: INPUT "DAME LA EXCENTRICIDAD EPS"; C
35550 LOCATE 17, 23
PRINT " "
LOCATE 17, 23: INPUT "DAME EL RADIO DE LA FLECHA"; RFCHA1$
IF VAL(RFCHA1$) = 0 THEN 35550
RFCHA = VAL(RFCHA1$)
14600 LOCATE 12, 12
'LEVA DE PLACA CON SEGUIDOR OSCILANTE DE CARRETILLA
OPEN BASE$ FOR INPUT AS #10
OPEN "GRAFICA.DAT" FOR OUTPUT AS #4
FOR I = 0 TO FIN STEP DEG.INC
INPUT #10, theta, y, yp, ypp
thet = theta * pi / 180
y = y * pi / 180
yp = yp * pi / 180
arg = (C ^ 2 + L ^ 2 - (RO + RR) ^ 2) / (2 * C * L)
alf = -ATN(arg / SQR(-arg * arg + 1)) + pi / 2
siay = SIN(alf + y)
coay = COS(alf + y)
csmr1 = C / (1 - yp)
csmr = csmr1
f1 = ATN((L * siay) / (csmr - L * coay))
rpl = (C - L * coay - RR * COS(f1)) ^ 2

```

```

rp2 = (L * siay - RR * SIN(f1)) ^ 2
r = SQR(rp1 + rp2)
nub1 = L * siay - RR * SIN(f1)
nub2 = C - L * coay - RR * COS(f1)
lam = ATN(nub1 / nub2)
u = r * COS(thet + lam)
v = r * SIN(thet + lam)
PRINT #4, u, v
NEXT I
CLOSE #4
CLOSE #10
GOSUB 20000
RETURN

```

Para cada tipo de leva las coordenadas del perfil son almacenadas en el archivo GRAFICA.DAT y dependiendo del tipo de leva, el sistema pide los datos necesarios para poder evaluar las ecuaciones, asimismo son utilizados los valores de posición (y), velocidad (yp) y aceleración (ypp) calculados en el módulo de diagrama de desplazamientos.

5.6 MODULO DE MANUFACTURA DE LEVAS.

El módulo de manufactura de levas consiste en utilizar los datos generados por el módulo de diagrama de desplazamientos y evaluar las ecuaciones de la Tabla III del capítulo 4 para generar la trayectoria de la herramienta de corte (u,v) y con esto poder generar el código de control numérico, de acuerdo al formato de la fresadora F1-CNC. Este módulo requiere los parámetros de corte como son: avance, profundidad, radio de la herramienta y punto de cambio de herramienta.

```

45000 '***** SUBROUTINA DE MANUFACTURA *****
      man = 1
      CLS
      LINE (10, 4)-(630, 348), , B
      LINE (12, 6)-(628, 346), , B
      LOCATE 6, 25
      PRINT "PARAMETROS DE FABRICACION"
35541 LOCATE 10, 5
      PRINT "
      LOCATE 10, 5: INPUT "DAME EL RADIO DE LA HERRAMIENTA"; RH1$
      IF VAL(RH1$) = 0 THEN 35541
      RH = VAL(RH1$)
35542 LOCATE 11, 5
      PRINT "

```

```

LOCATE 11, 5
INPUT "POSICION X,Y y Z DEL CAMBIO DE HERRAMIENTA"; X
IF VAL(XIN1$)=0 OR VAL(YIN1$)=0 OR VAL(ZIN1$)=0 THEN 35542
XIN = VAL(XIN1$): YIN = VAL(YIN1$): ZIN = VAL(ZIN1$)
35543 LOCATE 12, 5
PRINT " "
LOCATE 12, 5: INPUT " PROFUNDIDAD"; PROF1$
IF VAL(PROF1$) = 0 THEN 35543
PROF = VAL(PROF1$)
35544 LOCATE 13, 5
PRINT " "
LOCATE 13, 5: INPUT " AVANCE"; AVAN1$
IF VAL(AVAN1$) = 0 THEN 35544
AVAN = VAL(AVAN1$)
LOCATE 10, 5: PRINT " "
LOCATE 10, 5: PRINT "RADIO DE LA HERRAMIENTA= "; RH
LOCATE 11, 5
PRINT "POSICION X,Y y Z DEL CAMBIO DE HERRAMIENTA= ";

LOCATE 12, 5: PRINT "PROFUNDIDAD= "; PROF
LOCATE 13, 5: PRINT "AVANCE= "; AVAN
45601 LOCATE 18, 20
INPUT "LOS DATOS ESTAN CORRECTOS (S/N)"; CORR$
IF VAL(CORR$) <> 0 THEN 45601
IF CORR$ = "N" OR CORR$ = "n" THEN 35541
IF CORR$ = "S" OR CORR$ = "s" THEN 45600 ELSE 45601

45600 LOCATE 12, 12
45700 'SUBROUTINA DEL TIPO E IMPRESION DE LEVAS
IF TS = 1 THEN 45800
IF TS = 2 THEN 45900
IF TS = 3 THEN 46000
45900 'LEVA DE PLACA CON SEGUIDOR DE RODILLO 2
OPEN BASE$ FOR INPUT AS #10
OPEN "GRAFICA.DAT" FOR OUTPUT AS #4
FOR I = 0 TO FIN STEP DEG.INC
INPUT #10, theta, y, yp, ypp
thet = theta * pi / 180
cos1 = yp - C
cosr = cos1
den = SQR((RO + RR) ^ 2 - C ^ 2 + y)
f1 = ATN(cosr / den)
den2 = SQR((RO + RR) ^ 2 - C ^ 2)
del = ATN(C / den2)
rs1 = ((RO + RR) * COS(del) + y + (RH - RR) * COS(f1)) ^ 2
rs2 = ((RO + RR) * SIN(del) - (RH - RR) * SIN(f1)) ^ 2
rc = SQR(rs1 + rs2)
num1 = (RO + RR) * SIN(del) - (RH - RR) * SIN(f1)
NUM2 = (RO + RR) * COS(del) + y + (RH - RR) * COS(f1)
gam = ATN(num1 / NUM2)
u = rc * COS(gam + thet)
v = rc * SIN(gam + thet)
PRINT #4, u, v

```

```

NEXT I
CLOSE #10
CLOSE #4
GOSUB 20000 '**** SUBROUTINA DE GRAFICACION ****
RETURN

```

En esta subrutina de hecho se utiliza la subrutina de 6000 para en ella generar el código de control numérico de acuerdo a los valores de u y v. Esta subrutina inserta los valores de u y v dentro de un archivo con el formato con que se requiere en la máquina de control numérico empleando instrucciones G01.

```

DECLARE FUNCTION dirIJ$(ij!, u$)
DECLARE FUNCTION dirN$(n!)
DECLARE FUNCTION dirXZ$(XZ!)
DECLARE FUNCTION dirY$(y!)
DECLARE FUNCTION dirF$(f!)
60000 'MANUFACTURA
OPEN "LEVA.TRY" FOR INPUT AS #1
OPEN N1$ FOR OUTPUT AS #2
TYPE puntos
X AS INTEGER
y AS INTEGER
END TYPE
TYPE arcos
X AS INTEGER
y AS INTEGER
I AS INTEGER
J AS INTEGER
END TYPE
DIM ptos(0 TO 359) AS puntos
DIM g03(0 TO 359) AS arcos
FOR I = 0 TO 359
INPUT #1, A, B
ptos(I).X = A
ptos(I).y = B
NEXT I
k = (I / 2) - 1
PRINT #2, "%1#"
PRINT #2, TAB(4); "N -"; TAB(7); " G-"; TAB(10); " X -";
PRINT #2, TAB(16); " Y -"; TAB(21); " Z -"; TAB(28); " F ";
PRINT #2, TAB(31); "!*"
PRINT #2, TAB(4); "000"; " 92";
PRINT #2, TAB(10); dirXZ$(XIN); TAB(16); dirY$(YIN);
PRINT #2, TAB(21); dirXZ$(ZIN); TAB(28); TAB(31); "!*"
PRINT #2, TAB(4); "001"; " 00";
ptos0x = ptos(0).X; ptos0y = ptos(0).y
PRINT #2, TAB(10); dirXZ$(ptos0x); TAB(16); dirY$(ptos0y);
PRINT #2, TAB(21); dirXZ$(ZIN); TAB(31); "!*"
PRINT #2, TAB(4); "002"; " 00";
PRINT #2, TAB(10); dirXZ$(ptos0x); TAB(16); dirY$(ptos0y);

```

```

PRINT #2, TAB(21); dirXZ$(100); TAB(31); "!*"
PRINT #2, TAB(4); "003"; "M03"; TAB(31); "!*"
PRINT #2, TAB(4); "004"; " 01";
PRINT #2, TAB(10); dirXZ$(ptos0x); TAB(16); dirY$(ptos0y);
PRINT#2, TAB(21); dirXZ$(-PROF); TAB(28); dirF$(50); TAB(31); "!*"
PRINT #2, TAB(4); "005"; " 04";
PRINT #2, TAB(10); dirXZ$(100); TAB(31); "!*"
  n = 6
  FOR I = 0 TO k
    J = I * 2 + 2
    IF I < k THEN
      ptosjx = ptos(J).X: ptosjy = ptos(J).y
      PRINT #2, TAB(4); dirN$(n); " 01";
      PRINT #2, TAB(10); dirXZ$(ptosjx);
      PRINT #2, TAB(16); dirY$(ptosjy);
      PRINT #2, TAB(21); dirXZ$(-PROF);
      PRINT #2, TAB(28); dirF$(AVAN); TAB(31); "!*"
      n = n + 1
    ELSE
      PRINT #2, TAB(4); dirN$(n); " 01";
      PRINT #2, TAB(10); dirXZ$(ptos0x);
      PRINT #2, TAB(16); dirY$(ptos0y);
      PRINT #2, TAB(21); dirXZ$(-PROF);
      PRINT #2, TAB(28); dirF$(AVAN); TAB(31); "!*"
      n = n
    END IF
    g031 = g03(I).I: g03j = g03(I).J
    n = n
  NEXT
PRINT #2, TAB(4); dirN$(n); " 00";
PRINT #2, TAB(10); dirXZ$(ptos0x); TAB(16); dirY$(ptos0y);
PRINT #2, TAB(21); dirXZ$(ZIN); TAB(31); "!*"
PRINT #2, TAB(4); dirN$(n + 1); " 00";
PRINT #2, TAB(10); dirXZ$(XIN); TAB(16); dirY$(YIN);
PRINT #2, TAB(21); dirXZ$(ZIN); TAB(31); "!*"
PRINT #2, TAB(4); dirN$(n + 2); "M30"; TAB(31); "!*"
PRINT #2, " M !*"
CLOSE
RETURN

DEFINT E
DEFSTR W
FUNCTION dirF$(f)
IF f <= 999 AND f >= 0 THEN
f$ = MID$(STR$(f), 2)
L = LEN(f$)
v$ = " "
MID$(v$, 4 - L) = f$
ELSE
v$ = "erF"
END IF
dirF$ = v$
END FUNCTION

```

```

FUNCTION dirIJ$ (ij, u$)
IF ij <= 99999 AND ij >= 0 AND (u$ = "I" OR u$ = "J") THEN
ij$ = MID$(STR$(ij), 2)
L = LEN(ij$)
IF u$ = "I" THEN
v$ = u$ + " "
MID$(v$, 7 - L) = ij$
ELSE
v$ = u$ + " "
MID$(v$, 6 - L) = ij$
END IF
ELSE
V$ = "err IJ"
END IF
dirIJ$ = v$
END FUNCTION

```

```

FUNCTION dirn$ (n)
IF n <= 999 AND n >= 0 THEN
n$ = MID$(STR$(n), 2)
L = LEN(n$)
v$ = "000"
MID$(v$, 4 - L) = n$
ELSE
v$ = "erN"
END IF
dirn$ = v$
END FUNCTION

```

```

FUNCTION dirXZ$ (XZ)
IF XZ <= 999999 AND XZ >= -99999 THEN
IF XZ >= 0 THEN
s$ = " "
ELSE
s$ = "- "
END IF
XZ$ = MID$(STR$(XZ), 2)
L = LEN(XZ$)
v$ = s$ + " "
MID$(v$, 7 - L) = XZ$
ELSE
v$ = "err XZ"
END IF
dirXZ$ = v$
END FUNCTION

```

```

FUNCTION dirY$ (y)
IF y <= 99999 AND n >= -9999 THEN
IF y >= 0 THEN
s$ = " "
ELSE
s$ = "- "
END IF
y$ = MID$(STR$(y), 2)

```

```

L = LEN(y$)
v$ = s$ + " "
MID$(v$, 6 - L) = y$
ELSE
v$ = "err Y"
END IF
dirV$ = v$
END FUNCTION

```

5.7 MODULO DE GRAFICACION.

El módulo de graficación esta compuesto de dos subrutinas, la subrutina de graficación de curvas y la subrutina de graficación de perfiles de levass.

La subrutina de graficación de curvas esta diseñada para poder graficar las curvas de posición, velocidad y aceleración. Para lo cual se realiza primero una evaluación de los valores máximos y mínimos de cada una de estas curvas y por medio del comando LINE de basic simplemente se grafican cada uno de los puntos calculados en el módulo de diagrama de desplazamientos.

```

40000 '***** GRAFICACION DE CURVAS
DEFSTR W
OPEN BASE$ FOR INPUT AS #40
FOR I = 1 TO 359 STEP DEG.INC
INPUT #40, X(I), y(I), yp(I), ypp(I)
IF YMX > y(I) THEN 40100
YMX = y(I)
40100 IF YPMX > yp(I) THEN 40200
YPMX = yp(I)
40200 IF YPMM < yp(I) THEN 40300
YPMM = yp(I)
40300 IF YPPMX > ypp(I) THEN 40400
YPPMX = ypp(I)
40400 IF YPPMM < ypp(I) THEN 40500
YPPMM = ypp(I)
40500 NEXT I
CLOSE #40
IF YMX > YPMX THEN YMS = YMX ELSE YMS = YPMX
IF YMS > YPPMX THEN YMS = YMS ELSE YMS = YPPMX
IF YMS > ABS(YPMM) THEN YMS = YMS ELSE YMS = ABS(YPMM)
IF YMS > ABS(YPPMM) THEN YMS = YMS ELSE YMS = ABS(YPPMM)
FS = 120 / YMS
CLS
406010 SCREEN 9
COLOR 15, 0
lx = 150
LINE (8, 4)-(630, 348), , B
LINE (10, 6)-(628, 346), , B

```

```

LINE (20, 10)-(20, 298)
LINE (20, 1x)-(400, 1x)
FOR I = 0 TO FIN STEP DEG.INC
  II = I
  L = (II + 20)
LINE (L, (-y(I)) * FS + 1x)-(L + 1, (-y(I + 1)) * FS + 1x), 15
LINE (L, (-yp(I)) * FS + 1x)-(L + 1, (-yp(I + 1)) * FS + 1x), 14, BF, &HEEEE
LINE (L, (-yPP(I)) * FS + 1x)-(L + 1, (-yPP(I + 1)) * FS + 1x), 2, BF, &HF8F8
NEXT I
COLOR 15
LOCATE 9, 60: PRINT "POSICION"
COLOR 14
LOCATE 10, 60: PRINT "VELOCIDAD"
COLOR 2
LOCATE 11, 60: PRINT "ACELERACION"
COLOR 15, 0
LOCATE 14, 60: PRINT "PMAX"; YMX
LOCATE 15, 60: PRINT "VMAX"; YPMX
LOCATE 16, 60: PRINT "AMAX"; YPFMX
LOCATE 17, 60: PRINT "VMIN "; YPMM
LOCATE 18, 60: PRINT "AMIN "; YPPMM
LOCATE 23, 20:
PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR";
X$ = INPUT$(1)
COLOR 15
44900 RETURN

```

La subrutina de graficación de perfiles de levas tiene la función de graficar el perfil de la leva y la trayectoria de la herramienta de corte, empleando la información generada por el módulo de diseño de perfiles y el módulo de manufactura. De hecho esta información también se gráfica por medio de líneas cuando se tienen los valores de u y v.

```

20000 'SUBROUTINA DE GRAFICACION DE PERFILES
OPEN "grafica.DAT" FOR INPUT AS #5
FOR I = 0 TO ND
  INPUT #5, XP(I), yp(I)
  IF XFMX > XP(I) THEN XFMX = XFMX ELSE XFMX = XP(I)
  IF XFMM < XP(I) THEN XFMM = XFMM ELSE XFMM = XP(I)
  IF YFMX > yp(I) THEN YFMX = YFMX ELSE YFMX = yp(I)
  IF YFMM < yp(I) THEN YFMM = YFMM ELSE YFMM = yp(I)
NEXT I
IF YFMX > ABS(YFMM) THEN YFS = YFMX ELSE YFS = ABS(YFMM)
IF XFMX > ABS(XFMM) THEN XFS = XFMX ELSE XFS = ABS(XFMM)
FS1 = 120 / YFS
FS2 = 120 / XFS
IF FS1 > FS2 THEN FS = FS1 ELSE FS = FS2
CLOSE #5
CLS

```

```

20501 SCREEN 9
      COLOR 15, 0
      CLS
      CX = 315: CY = 160
      LOCATE 3, 67: PRINT "U N A M"
      LOCATE 4, 66: PRINT "L I M A C"
      LINE (8, 4)-(630, 348), , B
      LINE (10, 6)-(628, 346), , B
      FOR I = 0 TO ND
      XP(ND1) = XP(1)
      yp(ND1) = yp(1)
      XS = FS * 1.2 * XP(I) + CX
      YS = CY - FS * yp(I)
      xs2 = FS * 1.2 * XP(I + 1) + CX
      ys2 = CY - FS * yp(I + 1)
      LINE (XS, YS)-(xs2, ys2)
      NEXT I
      CIRCLE (CX, CY), FS * RFCHA
      LOCATE 25, 1
      X$ = INPUT$(1)
      IF man = 1 THEN 20700
      CLS
      COLOR 15, 1
      LINE (10, 4)-(630, 348), , B
      LINE (12, 6)-(628, 346), , B
33335 LOCATE 13, 18
      PRINT "SE MODIFICARAN LAS VARIABLES DE DISE";CHR$(165);"O
S/N";:INPUT S
      IF J4$ = "S" OR J4$ = "s" THEN 14190 ELSE 33333
33333 IF J4$ = "N" OR J4$ = "n" THEN 33334 ELSE 33335
33334 CLS
      LINE (10, 4)-(630, 348), , B
      LINE (12, 6)-(628, 346), , B
33336 LOCATE 13, 18
      INPUT "QUIERES ESCRIBIR UN ARCHIVO PARA AUTOCAD S/N"; J5$
      IF J5$ = "n" OR J5$ = "N" THEN 20600
      IF J5$ = "S" OR J5$ = "s" THEN 33337 ELSE 33336
33337 LOCATE 14, 18
      INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO _____.SCR"; n$
      OPEN n$ FOR OUTPUT AS #2
      PRINT #2, "PLINE"
      OPEN "GRAFICA.DAT" FOR INPUT AS #4
      FOR I = 0 TO ND
      INPUT #4, u, v
      WRITE #2, u, v
      NEXT I
      PRINT #2, "c"
      CLOSE #4
20600 CLS
      LINE (10, 4)-(630, 348), , B
      LINE (12, 6)-(628, 346), , B
20601 LOCATE 13, 18
      INPUT "DESEAS SELECCIONAR OTRO TIPO DE LEVA S/N"; J5$
      CLOSE #2

```

```

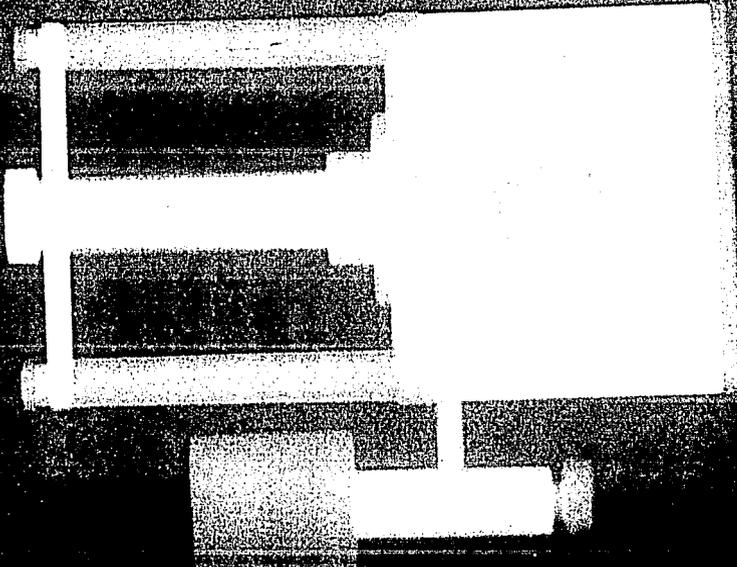
IF J5$ = "S" OR J5$ = "s" THEN 14000
IF J5$ = "N" OR J5$ = "n" THEN 20602 ELSE 20601
20602 RETURN
20700 SCREEN 9: COLOR 15, 0
LOCATE 25, 4
J9 = 1
FOR I = 0 TO ND
XP(ND1) = xp1
yp(ND1) = yp(1)
XS = FS * 1.2 * XP(I) + CX
YS = CY - FS * yp(I + 1)
IF J9 = 2 THEN 20740
CIRCLE (CX, CY), RH * FS
LINE (CX, CY)-(XS, YS), 2
20740 CIRCLE (XS, YS), RH * FS
J9 = 2
NEXT I
X$ = INPUT$(1)
CLS
COLOR 15, 1
LINE (10, 4)-(630, 348), , B
LINE (12, 6)-(628, 346), , B
20741 LOCATE 9, 20
INPUT "QUIERES UN ARCHIVO PARA MANUFACTURA S/N"; J8$
IF J8$ = "N" OR J8$ = "n" THEN 20750
IF J8$ = "S" OR J8$ = "s" THEN 20742 ELSE 20741
20742 CLOSE
LOCATE 10, 20
INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO _____ .CNC"; N1$
LOCATE 11, 20
PRINT "GENERANDO EL CODIGO DE CONTROL NUMERICO"
LOCATE 12, 20
PRINT " EN EL ARCHIVO: "; N1$
OPEN "LEVA.TRY" FOR OUTPUT AS #15
OPEN "GRAFICA.DAT" FOR INPUT AS #4
FOR I = 0 TO ND
INPUT #4, u, v
u = u * 100: v = v * 100
WRITE #15, u, v
NEXT I
CLOSE #15
CLOSE #4
GOSUB 60000
20750 RETURN

```

5.8 EJEMPLO DE APLICACION.

Se requiere diseñar una leva con seguidor de carretilla para el banco de pruebas de levas del Laboratorio de Mecanismos del Departamento de Ingeniería Mecánica, figura 5.3, el cual debe de tener un reposo durante 180° , una elevación de 25.4 mm y el radio de la carretilla sea de 14.3 mm.

T S D S L M P B W K F B B R S Y C S B



STYLAY_OPTIONS_340
I - EXECUTE
SE-SET_AS_GLOM
O - OVERLAY_HIGHLIGHT
< - COLOR_OF_OVERLAY
P-PALLETTE
L - LIGHTING
TR-TRANSLUCENCY_34
RE-RENDERING_IN
C - COMPOSITE_34
R - REVERSE_RENDERING
ST-STEREOSCOPIC
RE-RENDERING
I - INTERACTIVE_RENDERING
AD-ADJUST_RENDERING_SPEED
STATUS-STATUS
HELP-HELP

3401 1775
3401 1775
3401 1775

Para este diseño se elige un radio base de 39.7 mm, puesto que la flecha en la cual se montará la leva tiene un radio de 12.7 mm y se utilizan dos curvas de detención, una curva cicloidal de subida completa y una curva polinomial de retorno completo, cada una de ellas de 90° , para formar el diagrama de desplazamientos.

Para iniciar el proceso de diseño de levas se ejecuta el programa DIMALEV y se selecciona la opción 2:

1 INFORMACION SOBRE EL MODULO

2 DISEÑO DE LEVAS

SELECCIONE LA OPCION? 2

Para el diseño del diagrama de desplazamientos se empleará el segundo método:

PARA EL DISEÑO DEL DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTOS

SE PUEDE EMPLEAR ALGUNO DE LOS SIGUIENTES METODOS

1 DISEÑO POLINOMIAL

2 DISEÑO MEDIANTE CURVAS CICLOIDALES/ARMONICAS/POLINOMIALES

QUE TIPO DE DISEÑO SE UTILIZARA? 2

En esta etapa se desplegarán los diferentes tipos de curvas que se pueden utilizar, seleccionandose para este ejemplo la curva 21, detención, teniendo un ángulo de rotación de 90 grados y una elevación de 0 mm.

SELECCIONE LA OPCION? 21

1 VISUALIZAR OTRA CURVA

2 SELECCION DE LA CURVA 21

SELECCIONE LA OPCION? 2

ANGULO DE ROTACION (1) = ? 90

ELEVACION DEL SEGUIDOR (1) = ? 0

El programa desplegará la información introducida anteriormente para su verificación:

LA CURVA SELECCIONADA ES = 21

EL ANGULO DE ROTACION ES = 90

LA ELEVACION DEL SEGUIDOR ES = 0

LOS DATOS SON CORRECTOS (S/N)? S

En esta etapa se desplegarán de nuevo los diferentes tipos de curvas que se pueden utilizar, seleccionandose en este caso la

curva 2, cicloidal de subida completa, teniendo un ángulo de rotación de 90 grados y una elevación de 25.4 mm.

SELECCIONE LA OPCION? 2
1 VISUALIZAR OTRA CURVA
2 SELECCION DE LA CURVA 2
SELECCIONE LA OPCION? 2
ANGULO DE ROTACION (1) = ? 90
ELEVACION DEL SEGUIDOR (1) = ? 25.4

El programa desplegará la información introducida anteriormente para su verificación:

LA CURVA SELECCIONADA ES = 2
EL ANGULO DE ROTACION ES = 90
LA ELEVACION DEL SEGUIDOR ES = 25.4
LOS DATOS SON CORRECTOS (S/N)? S

En esta etapa se desplegarán de nuevo los diferentes tipos de curvas que se pueden utilizar, seleccionándose la curva 16, polinomial de retorno completo y teniendo un ángulo de rotación de 90 y una elevación de 25.4 mm.

SELECCIONE LA OPCION? 16
1 VISUALIZAR OTRA CURVA
2 SELECCION DE LA CURVA 16
SELECCIONE LA OPCION? 2
ANGULO DE ROTACION (2) = ? 180
ELEVACION DEL SEGUIDOR (2) = ? 25.4

El programa desplegará la información introducida anteriormente para su verificación:

LA CURVA SELECCIONADA ES = 16
EL ANGULO DE ROTACION ES = 180
LA ELEVACION DEL SEGUIDOR ES = 30
LOS DATOS SON CORRECTOS (S/N)? S

En esta etapa se desplegarán los diferentes tipos de curvas que se pueden utilizar, seleccionándose para este ejemplo la curva 21, detención, teniendo un ángulo de rotación de 90 grados y una elevación de 0 mm.

SELECCIONE LA OPCION? 21
1 VISUALIZAR OTRA CURVA

2 SELECCION DE LA CURVA 21
SELECCIONE LA OPCION? 2
ANGULO DE ROTACION (1) = ? 90
ELEVACION DEL SEGUIDOR (1) = ? 0

El programa desplegará la información introducida anteriormente para su verificación:

LA CURVA SELECCIONADA ES = 21
EL ANGULO DE ROTACION ES = 90
LA ELEVACION DEL SEGUIDOR ES = 0
LOS DATOS SON CORRECTOS (S/N)? S

En este momento se debe de introducir el nombre de un archivo en el cual se almacenarán todos los datos de posición, velocidad y aceleración:

NOMBRE DEL ARCHIVO PARA EL DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTOS: ? DDD.DAT
ESPERE UN MOMENTO.....

En la pantalla aparecera la gráfica del diagrama de desplazamientos, como se muestra en la figura 5.4

Para obtener el perfil de la leva se selecciona un seguidor translacional de carretilla y el cual tendrá un radio de base de 25.4 mm, radio de la carretilla de 14.3 excentricidad igual a cero y un radio de la flecha de 12.7 mm.

TIPOS DE SEGUIDORES

- 1 LEVA CON SEGUIDOR DE CARA PLANA
- 2 LEVA CON SEGUIDOR DE CARRETILLA
- 3 LEVA CON SEGUIDOR OSCILANTE DE CARA PLANA
- 4 LEVA CON SEGUIDOR OSCILANTE DE RODILLO

SELECCIONE LA OPCION? 2

DAME EL RADIO DE BASE R0? 25.4
DAME EL RADIO DE LA CARRETILLA? 14.3
DAME LA EXCENTRICIDAD? 0
DAME EL RADIO DE LA FLECHA? 12.7

En la pantalla aparecerá el perfil de la leva, como se muestra en la figura 5.5.

Para el módulo de manufactura de levas se utilizan los siguientes valores, empleando unidades métricas:

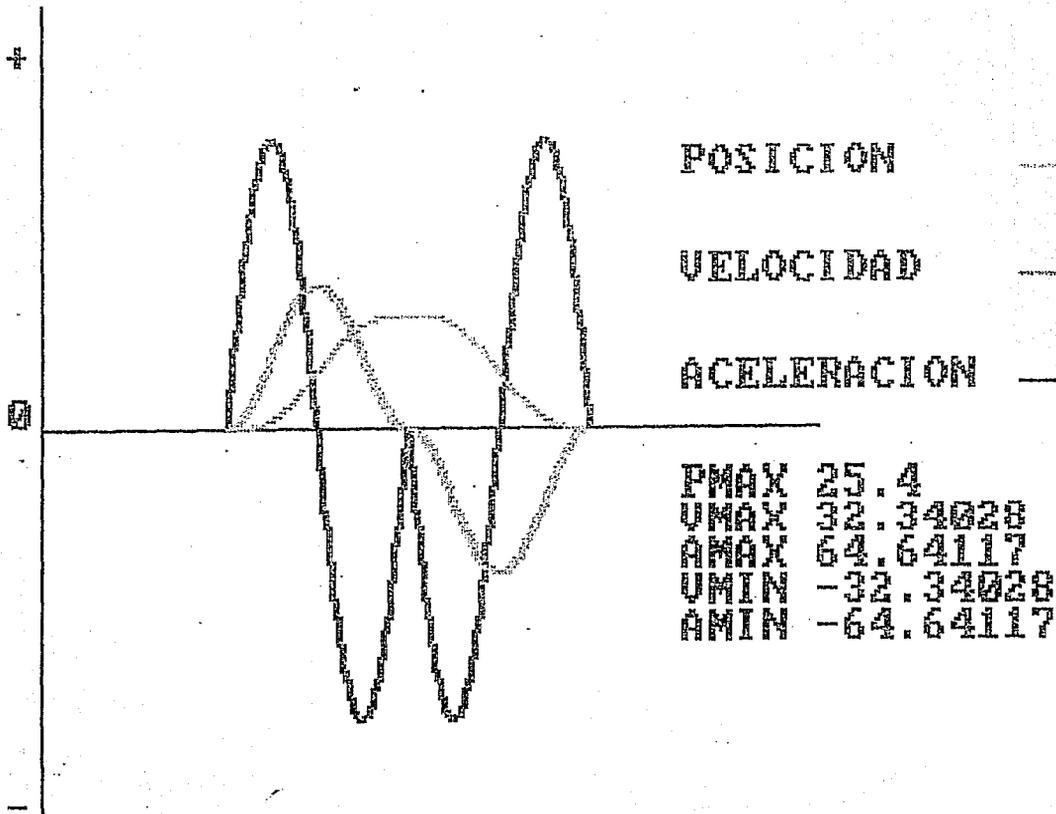


Fig. 5.4 Diagrama de desplazamientos.

RADIO DE LA HERRAMIENTA:	6.35
POSICION X, Y y Z DEL CAMBIO DE HERRAMIENTA:	-1000,-1000,1000
PROFUNDIDAD:	500
AVANCE:	120

En este momento se desplegará la trayectoria de corte de la herramienta y se realizará una simulación del corte en la pantalla, figura 5.6.

La generación del código de control numérico se almacena en el archivo CODIGO.CNC:

QUIERES UN ARCHIVO PARA MANUFACTURA S/N? S
NOMBRE DEL ARCHIVO _____ .CNC? CODIGO.CNC
GENERANDO EL CODIGO DE CONTROL
NUMERICO EN EL ARCHIVO: CODIGO.CNC

Las etapas de fabricación se pueden ver en las figuras 5.7, 5.8, y la leva final que se obtiene en la figura 5.9. Asimismo en la figura 5.10 se muestra el diseño de la leva mediante el programa Autocad.

El código de control numérico se envía a la máquina EMCO F1 por medio del programa de simulación FMS, con el que cuenta dicha máquina al estar conectado a una computadora o por cualquier tipo de programa comercial de comunicación para máquinas de control numérico que cuente con el postprocesador emcotronic. El código de control numérico obtenido es el siguiente:

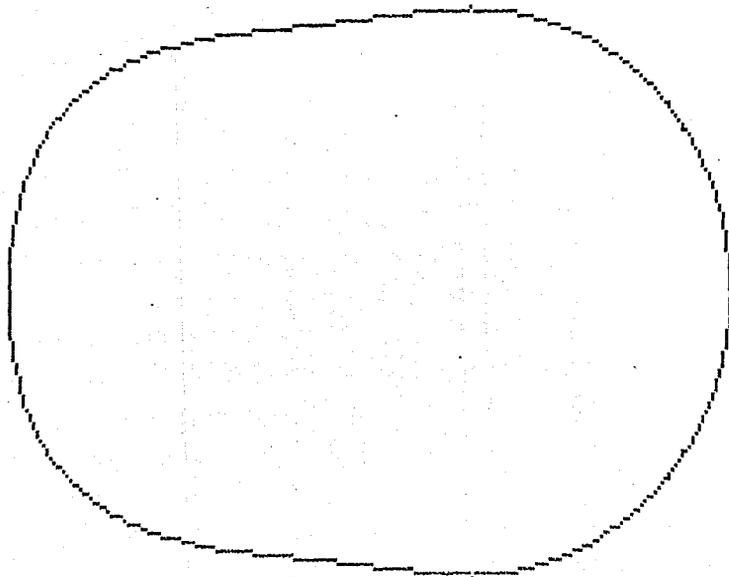
CODIGO DE CONTROL NUMERICO

N - G-	X - Y -	Z -	F	N - G-	X - Y -	Z -	F
000 92-	1000-1000	1000		057 01-	922 3117-	500	120
001 00	3175	0	1000	058 01-	1075 3107-	500	120
002 00	3175	0	100	059 01-	1233 3099-	500	120
003M03				060 01-	1395 3092-	500	120
004 01	3175	0-	500 50	061 01-	1561 3087-	500	120
005 04	100			062 01-	1730 3083-	500	120
006 01	3173	111-	500 120	063 01-	1901 3080-	500	120
007 01	3167	221-	500 120	064 01-	2076 3077-	500	120
008 01	3158	332-	500 120	065 01-	2252 3073-	500	120
009 01	3144	442-	500 120	066 01-	2432 3068-	500	120
010 01	3127	551-	500 120	067 01-	2613 3059-	500	120
011 01	3106	660-	500 120	068 01-	2795 3047-	500	120
012 01	3081	768-	500 120	069 01-	2979 3029-	500	120
013 01	3052	875-	500 120	070 01-	3164 3005-	500	120
014 01	3020	981-	500 120	071 01-	3348 2975-	500	120
015 01	2984	1086-	500 120	072 01-	3532 2937-	500	120
016 01	2944	1189-	500 120	073 01-	3713 2890-	500	120
017 01	2901	1291-	500 120	074 01-	3891 2835-	500	120
018 01	2854	1392-	500 120	075 01-	4065 2770-	500	120
019 01	2803	1491-	500 120	076 01-	4233 2695-	500	120
020 01	2750	1588-	500 120	077 01-	4394 2612-	500	120
021 01	2693	1682-	500 120	078 01-	4547 2519-	500	120
022 01	2632	1775-	500 120	079 01-	4691 2418-	500	120
023 01	2569	1866-	500 120	080 01-	4826 2310-	500	120
024 01	2502	1955-	500 120	081 01-	4949 2194-	500	120
025 01	2432	2041-	500 120	082 01-	5062 2072-	500	120
026 01	2359	2124-	500 120	083 01-	5164 1944-	500	120
027 01	2284	2206-	500 120	084 01-	5256 1812-	500	120
028 01	2206	2284-	500 120	085 01-	5339 1675-	500	120.
029 01	2124	2359-	500 120	086 01-	5412 1534-	500	120
030 01	2041	2432-	500 120	087 01-	5476 1387-	500	120
031 01	1955	2502-	500 120	088 01-	5533 1236-	500	120
032 01	1866	2569-	500 120	089 01-	5581 1079-	500	120
033 01	1775	2632-	500 120	090 01-	5623 915-	500	120
034 01	1682	2693-	500 120	091 01-	5656 746-	500	120
035 01	1588	2750-	500 120	092 01-	5682 569-	500	120
036 01	1491	2803-	500 120	093 01-	5701 386-	500	120
037 01	1392	2854-	500 120	094 01-	5711 196-	500	120
038 01	1291	2901-	500 120	095 01-	5715 0-	500	120
039 01	1189	2944-	500 120	096 01-	5711- 195-	500	120
040 01	1086	2984-	500 120	097 01-	5700- 381-	500	120
041 01	981	3020-	500 120	098 01-	5682- 560-	500	120
042 01	875	3052-	500 120	099 01-	5655- 731-	500	120
043 01	768	3081-	500 120	100 01-	5621- 896-	500	120
044 01	660	3106-	500 120	101 01-	5579-1056-	500	120
045 01	551	3127-	500 120	102 01-	5529-1211-	500	120
046 01	442	3144-	500 120	103 01-	5470-1361-	500	120
047 01	332	3158-	500 120	104 01-	5402-1507-	500	120
048 01	221	3167-	500 120	105 01-	5325-1650-	500	120
049 01	111	3173-	500 120	106 01-	5239-1789-	500	120
050 01		0 3175-	500 120	107 01-	5142-1923-	500	120
051 01-	114	3173-	500 120	108 01-	5035-2052-	500	120
052 01-	234	3168-	500 120	109 01-	4917-2176-	500	120
053 01-	360	3160-	500 120	110 01-	4790-2293-	500	120
054 01-	492	3150-	500 120	111 01-	4654-2404-	500	120
055 01-	630	3139-	500 120	112 01-	4508-2506-	500	120
056 01-	773	3128-	500 120	113 01-	4355-2601-	500	120

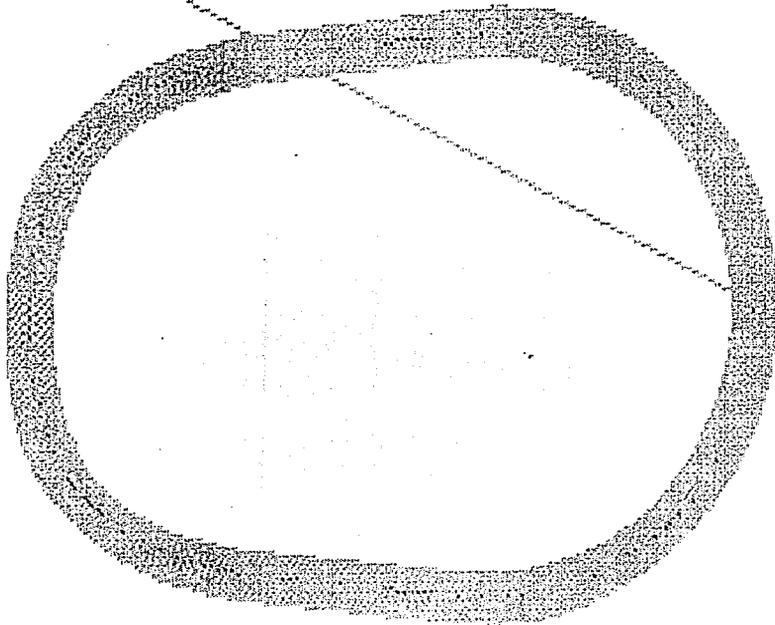
N	G	X	Y	Z	F
114	01	4196	2687	500	120
115	01	4030	2764	500	120
116	01	3860	2832	500	120
117	01	3686	2891	500	120
118	01	3510	2942	500	120
119	01	3331	2994	500	120
120	01	3152	3019	500	120
121	01	2973	3047	500	120
122	01	2795	3069	500	120
123	01	2617	3085	500	120
124	01	2441	3097	500	120
125	01	2266	3105	500	120
126	01	2094	3110	500	120
127	01	1923	3113	500	120
128	01	1755	3115	500	120
129	01	1589	3116	500	120
130	01	1425	3118	500	120
131	01	1263	3121	500	120
132	01	1105	3125	500	120
133	01	949	3130	500	120
134	01	798	3137	500	120
135	01	650	3145	500	120
136	01	507	3153	500	120
137	01	370	3161	500	120
138	01	239	3168	500	120
139	01	115	3173	500	120
140	01	0	3175	500	120
141	01	111	3173	500	120
142	01	221	3167	500	120
143	01	332	3158	500	120
144	01	442	3144	500	120
145	01	551	3127	500	120
146	01	660	3106	500	120
147	01	768	3081	500	120
148	01	875	3052	500	120
149	01	981	3020	500	120
150	01	1086	2984	500	120
151	01	1189	2944	500	120
152	01	1291	2901	500	120
153	01	1392	2854	500	120
154	01	1491	2803	500	120
155	01	1588	2750	500	120
156	01	1682	2693	500	120
157	01	1775	2632	500	120
158	01	1866	2569	500	120
159	01	1955	2502	500	120
160	01	2041	2432	500	120
161	01	2124	2359	500	120
162	01	2206	2284	500	120
163	01	2284	2206	500	120
164	01	2359	2124	500	120
165	01	2432	2041	500	120
166	01	2502	1955	500	120
167	01	2569	1866	500	120
168	01	2632	1775	500	120
169	01	2693	1682	500	120
170	01	2750	1587	500	120
171	01	2803	1491	500	120

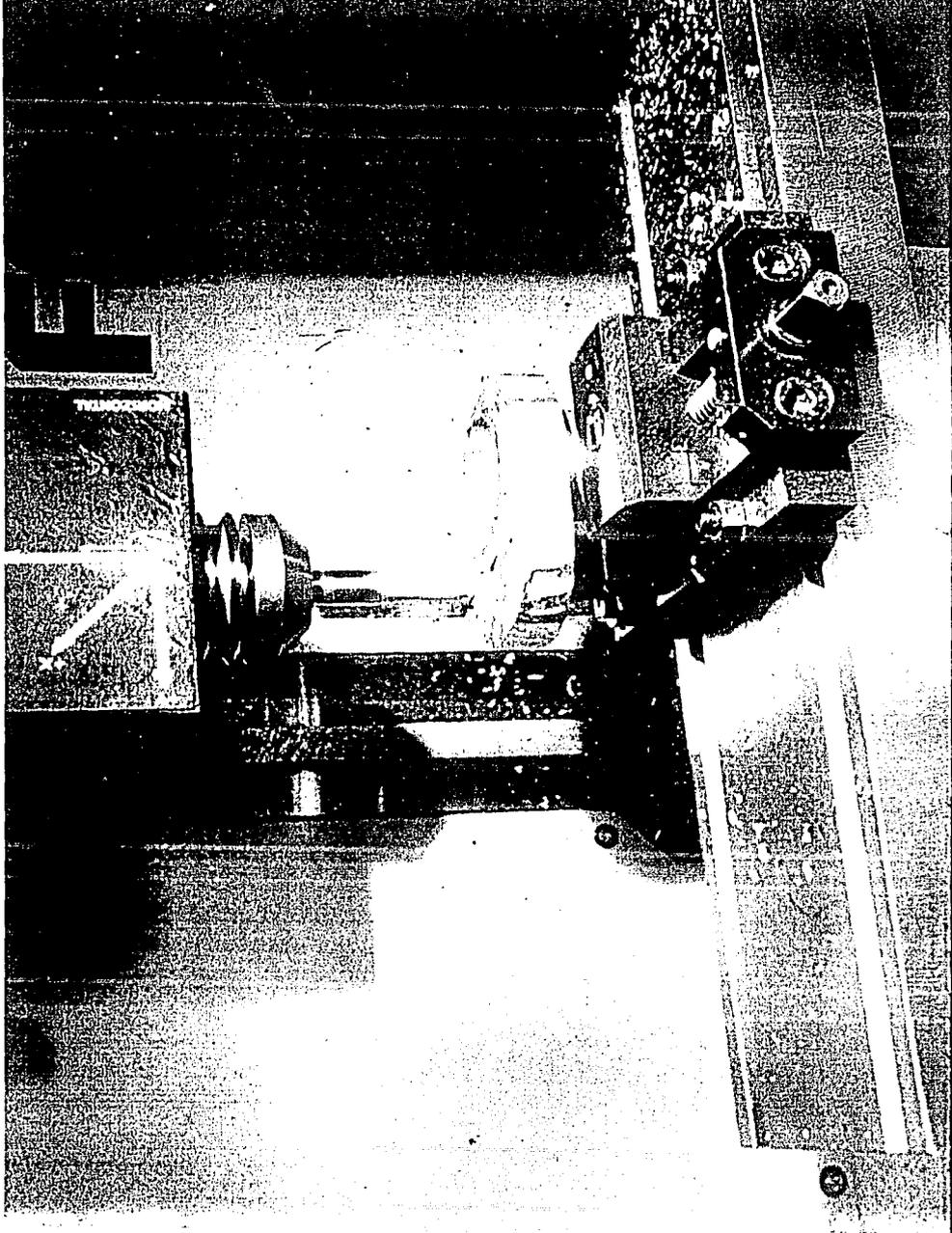
N	G	X	Y	Z	F
172	01	2854	1392	500	120
173	01	2901	1291	500	120
174	01	2944	1189	500	120
175	01	2984	1086	500	120
176	01	3020	981	500	120
177	01	3052	875	500	120
178	01	3081	768	500	120
179	01	3106	660	500	120
180	01	3127	551	500	120
181	01	3144	442	500	120
182	01	3158	332	500	120
183	01	3167	221	500	120
184	01	3173	111	500	120
185	01	3175	0	500	120
185	00	3175	0	1000	
186	00	1000	1000	1000	
187	M30				

UNAM
LIMAC
DYM-LEVAS



UNAM
LIMAC
DYM-LEUAS





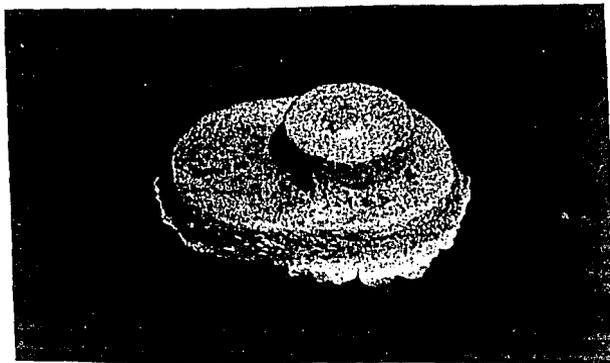


Fig. 5.7 Leva sin maquinar.

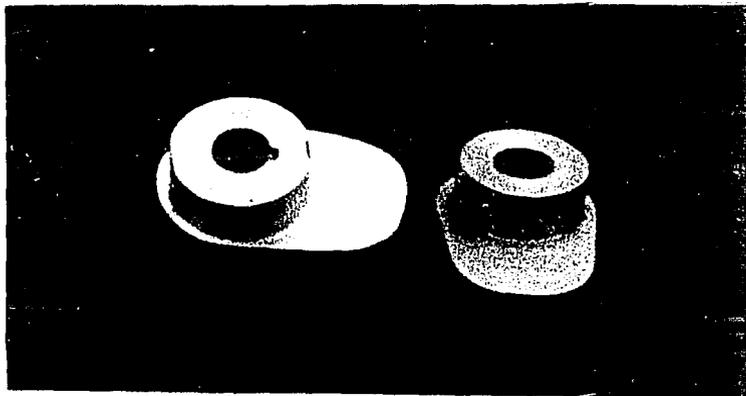


Fig. 5.9 Leva final.

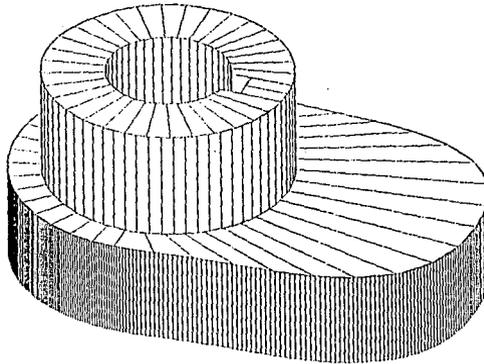


Fig. 5.10 Leva modelada en Autocad.

CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados al iniciar este trabajo las conclusiones que se obtienen del mismo son:

Se desarrolló un programa que integra los métodos analíticos para el diseño y la manufactura de levas planas.

Este programa puede apoyar la impartición de clases de diseño y análisis de levas en materias como Introducción al Estudio de los Mecanismos que están contemplados en el plan de estudio de la carrera de Ingeniería Mecánica.

Este trabajo proporciono los conocimientos básicos necesarios para poder estructurar programas enfocados al diseño y análisis de mecanismos y elementos de máquinas. Asimismo permitio tener una visión global de como están estructurados los sistemas comerciales de diseño y manufactura por computadora y entender la filosofía de funcionamiento de este tipo de sistemas.

Mediante el programa que se realizó se disminuye considerablemente el tiempo requerido para las fases de diseño del diagrama de desplazamientos, el perfil y la manufactura de levas, ya que se tiene la posibilidad de comparar diferentes soluciones, con diferentes seguidores para un mismo problema y poder fabricarla con alta precisión y exactitud mediante una fresadora EMCO F1 de control numérico. Asimismo el código puede fácilmente modificarse para emplearlo en una cortadora laser de control numérico o en un centro de maquinado con controlador Siemens.

Por medio de la comunicación con sistemas como AUTOCAD y Cadkey, por medio del formato DXF, se pueden diseñar otros elementos de la leva como son cuñeros, soportes, etc.

Asimismo se pudo comparar que el tiempo para la generación de trayectorias y la generación del código de control numérico en este programa se realiza en una doceava parte del tiempo que se realiza en paquetes comerciales para manufactura, por ejemplo: ProCad/Cam y Pathtrace.

BIBLIOGRAFIA

1. Sandor G.N., "Mechanism Design", Volume I, Ed. Prentice Hall, New Jersey, U.S.A., 1991.
2. Norton R., "Design of Machinery", Ed. McGraw-Hill Inc., Massachusetts, U.S.A., 1991.
- 3.- Shigley J. E., Vicker J.J., "Teoría de Máquinas y Mecanismos", Ed. Mc Graw Hill, México 1984.
- 4.- DeGarmo E. P., "Materiales y Procesos de Fabricación", Ed. Reverté S.A., Argentina, 1969.
- 5.- Mabie H. H., Ocvirk F. W., "Mecanismos y Dinámica de Maquinaria", Ed. Limusa, México 1978.
- 6.- Rojas S. A., Cruz M. M., "Diseño y Manufactura de Levas por Computadora", XVII Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, Monterrey, N.L., 1991.
- 7.- Burton P., "Kinematics and Dynamics of Planar Machinery", Ed. Prentice Hall Inc., N.J., 1979.
- 8.- Davison J. K., "Calculating cam profiles quickly", Machine Design, Diciembre 7, 1978.
- 9.- D. C. Tao, "Fundamental of applied Kinematics", Ed. Addison Wesley Publishing Company, U.S.A., 1976.
- 10.- Angeles A. J., "Análisis y síntesis cinemáticos de sistemas mecánicos", Ed. Limusa, México, 1978.
11. Papaioannou S. G., "Computer-Aided Manufacture of High Precision Cams", Journal of Engineering for Industry, Vol. 110, Noviembre, 1988.
12. Ramous A. J., "Applied Kinematics", Ed. Prentice Hall, New Jersey, 1972.
13. Corral C. J., Rico M. J., "Aplicación de la Computadora Digital en la Manufactura de Levas Mediante Máquinas de Control Numérico", X Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, 1984.
- 14.- Gonzalez N. J., "El control numérico en las máquinas-herramienta", Ed. CECSA, México, 1990.
- 15.- Doughty, S., "Mechanics of Machines", Ed. Wiley & Sons, Inc., U.S.A., 1987.

- 16.- Ceballos J., "Manual para QuickBASIC 4.5", Ed. Macrobit, México, 1990.
- 17.- Barry Hawkes, "CAD/CAM", Ed Paraninfo, Madrid, España, 1989.
- 18.- Mittelstadt, W., "Integrated CAD of Mechanisms", Mechanism and Machine Theory Vol.20, No. 4 pp. 303-311, 1985.
- 19.- Erdman, A. "New Software Synthesizes Complex Mechanisms", Machine Design, August 22, 1985.
- 20.- Richard, F., "Ingeniería de Software", Ed. McGraw-Hill, México, 1990.
- 21.- Pressman, R. "Ingeniería del Software", Ed. McGraw-Hill, México, 1990.
- 22.- Puzstai, J., "Computer Numerical Control", Ed. Reston, U.S.A. 1983.
- 23.- Erdman, A., Computer-Aided Design of Mechanisms: 1984 and Beyond", Mechanism and Machine Theory Vol. 20, No. 4, pp. 245-249 1985.