

23  
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE ASCENSORES PARA  
UN EDIFICIO MEDIANTE EL EMPLEO DE MOTORES  
DE CORRIENTE DIRECTA**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
( ÁREA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA )**

PRESENTAN:

**BENÍTEZ JOYNER CÉSAR ENRIQUE  
PACHECO REYES AUREA NOEMÍ**



**DIRECTOR: ING. EDUARDO CARRANZA TORRES  
CD. UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 1997**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

***A Enrique y Lucy:***

*Por su amor y cariño, enseñarme, guiarme y orientarme como  
amigos y padres en este sendero del bien.*

*Los quiero mucho.*

*GRACIAS*

***A Mamaita:***

*Gracias por la luz que ayudó a iluminar mi mente y mi corazón.*

***A mis hermanos Liliana y Adrián:***

*Por todos los momentos inolvidables.*

***A mi Abuelita:***

*Gracias por todo tu apoyo.*

***A Elizabeth:***

*Por toda tu ayuda y compañía en todo momento.*

*De todo corazón, GRACIAS.*

***A Juan M. C. M.:***

*Por ser el gran amigo con quien cuento. Gracias.*

***A Carmen M. D.:***

*Por tu amistad y ayuda. Gracias.*

***Y a todos y cada uno de todos mis familiares, amistades y profesores que  
estuvieron conmigo en este camino.***

***Gracias.***

# ÍNDICE

## CAPÍTULO 1

---

### INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS

1.1 Definición de máquina.	Pág. 3
1.2 Tipos de máquinas.	Pág. 3
1.2.1 Máquinas simples.	Pág. 5
1.2.2 Máquinas de fluido.	Pág. 11
1.2.3 Máquina hidráulica.	Pág. 11
1.2.4 Máquina térmica.	Pág. 11
1.2.5 Máquinas herramientas.	Pág. 13
1.2.6 Máquinas eólicas.	Pág. 14
1.2.6.1 Energía eólica.	Pág. 14
1.2.6.2 Generación eoloelectrica.	Pág. 16
1.2.7 Máquinas eléctricas.	Pág. 17

## CAPÍTULO 2

---

### MOTOR DE C.D.

2.1 Definición.	Pág. 20
2.2 Principio de funcionamiento.	Pág. 20
2.3 Elementos de diseño y construcción.	Pág. 23
2.3.1 El estator.	Pág. 24
2.3.2 Los polos.	Pág. 25
2.3.3 Bobinas inductoras.	Pág. 26
2.3.4 El rotor.	Pág. 29
2.3.5 El colector.	Pág. 30
2.3.6 Escobillas.	Pág. 31
2.3.7 Porta escobillas.	Pág. 32
2.3.8 El árbol o flecha.	Pág. 33
2.3.9 Cojinetes o chumaceras.	Pág. 34
2.4 Tipos de motores de C.D..	Pág. 35
2.4.1 Motores de C.D. en conexión serie.	Pág. 35

2.4.2 Motores de C.D. en conexión shunt.	_____	Pág. 36
2.4.3 Motores de C.D. en conexión mixta o compound.	_____	Pág. 38
2.5 Características de operación de los motores de C.D..	_____	Pág. 39
2.6 Características de los motores con excitación en serie.	_____	Pág. 39
2.7 Características de los motores con excitación en derivación (shunt).	_____	Pág. 43
2.8 Características del motor en conexión mixta (compound).	_____	Pág. 46
2.9 Aplicaciones del motor de C.D..	_____	Pág. 50
2.10 Motores de C.D. para elevador.	_____	Pág. 51

### **CAPÍTULO 3**

---

#### **EL CONTROL DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE C.D.**

3.1 Definición de control.	_____	Pág. 53
3.2 Forma de control tradicional.	_____	Pág. 54
3.2.1 El control de velocidad en los motores de C.D.en conexión en derivación (shunt).	_____	Pág. 55
3.2.2 El control de velocidad de los motores de C.D. en serie.	_____	Pág. 60
3.3 Forma de control moderno.	_____	Pág. 64

### **CAPÍTULO 4**

---

#### **ASCENSORES**

4.1 Definición de ascensor.	_____	Pág. 65
4.2 Historia de los ascensores.	_____	Pág. 65
4.3 Tipos de ascensores.	_____	Pág. 72
4.4 Principales elementos de un equipo de ascensores.	_____	Pág. 75
4.5 Sistemas de comando.	_____	Pág. 89
4.6 Elementos de construcción y diseño.	_____	Pág. 91

## **CAPÍTULO 5**

---

### **ANÁLISIS, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE ASCENSORES PARA UN PROBLEMA REAL**

5.1 Definición del problema.	Pág. 95
5.2 Bases para dotar de ascensores a un edificio.	Pág. 65
5.3 Cálculo de la capacidad de transporte de un equipo de ascensores.	Pág. 96
5.4 Resultados.	Pág. 100
5.5 Conclusiones.	Pág. 102

## **APÉNDICE**

Pág. 104

---

## **BIBLIOGRAFÍA**

Pág. 112

---

## **INTRODUCCIÓN**

Actualmente en las ciudades modernas de alta concentración humana, es donde se realizan las actividades de administración pública, finanzas, transacción comercial y servicios, dada la localización geográfica y el incremento de la plusvalía del suelo, ha originado la necesidad de optimizar este recurso, además de que se justifican las ventajas como son el acceso a los sistemas de comunicación, generándose una competencia para disponer de los mejores lugares, que de acuerdo a su localización incrementan constantemente el valor de los predios urbanos, lo que ha originado la construcción de edificios altos, de los que en las principales ciudades se considera que en promedio alcanzan los veinte niveles en cuanto a construcción reciente se trata.

Dentro de las actividades en el ejercicio profesional que a la rama de la Ingeniería en México compete, se considera que la cobertura para atender la necesidad de proveer a este tipo de inmuebles, con la instalación de ascensores, no ha sido actualizada en cuanto a la disponibilidad de los elementos técnicos necesarios, lo que ha ocasionado un retraso en el área de la información, para la selección de las partes constitutivas de los ascensores en nuestro país para la transportación vertical de personas y objetos de poco volumen y peso.

Por lo que se considera oportuno generar la información necesaria en este renglón, con base a los criterios de actualización y disponibilidad de un recurso de consulta, que reúna las características de aplicación práctica y oportuna, para el ejercicio profesional eficaz.

El propósito para satisfacer la necesidad de disponer de los criterios, que permitan la selección idónea de un sistema de ascensores, se consideró oportuno realizar una investigación bibliográfica y de campo en el área comercial especializada.

Con el material recopilado, se procederá a realizar, una clasificación y análisis sistemático de la información relevante, destacando el desarrollo desde el punto de vista histórico, acerca de los componentes que constituyen un ascensor.

Así mismo se clasificará y analizará la información para desglosar, los datos de tipo tecnológico y estadístico utilizados, en cuanto a las partes que como sistema constituyen el ascensor, procurando destacar los parámetros estadísticos a

considerar y así elegir el sistema idóneo de ascensores que satisfaga una aplicación real.

Siendo la selección del sistema idóneo de ascensores para edificios altos congruente a la aplicación específica de que se trate, pudiendo ser ésta del tipo residencial, comercial, de oficinas, etc, el problema a resolver.

La finalidad del trabajo es presentar el desarrollo de la evolución de los sistemas de ascensores mostrando un breve bosquejo histórico y teórico para definir y disponer del mejor instrumento conceptual que facilite el análisis, cálculo y selección para una mejor toma de decisiones acerca del sistema adecuado.

Por lo tanto, se llegó a la conclusión de que en nuestro país, actualmente se carece del instrumento informativo especializado para la consulta de datos técnicos relevantes de alta confiabilidad para garantizar la óptima selección de ascensores para ser instalados en edificios altos.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS

#### 1.1 Definición de máquina.

Es un artefacto para aprovechar, dirigir y regular la acción de una fuerza.

#### 1.2 TIPOS DE MÁQUINAS

<b>MÁQUINAS</b>	<b>Máquinas simples:</b>	Palanca Plano inclinado Cuña Tornillo Torno Polea			
	<b>Máquinas de fluidos:</b>	Máquinas hidráulicas (densidad=cte)	<b>Turbomáquinas:</b>	Generadoras: Bombas. Ventiladores. Máquinas eólicas Motores: Turbinas hidráulicas.	
			Máquinas de desplazamiento positivo:	Recíprocas. Rotatorias.	
		Máquinas térmicas (densidad<cte)	<b>Turbomáquinas:</b>		
			Turbina de vapor Turbina de gas	Máquinas de desplazamiento positivo:	Motores: Otto Diesel Lenoir Brayton
	<b>Máquinas herramientas.</b>				
<b>Máquinas eléctricas.</b> (Ver clasificación en la siguiente página)					

<b>MÁQUINAS ELÉCTRICAS</b>	<b>Máquinas eléctricas ESTÁTICAS:</b>	Transformador y autotransformador Inversores Convertidores			
	<b>Máquinas eléctricas GIRATORIAS. GENERADORES:</b>	CA (alternador)	Por sus fases:	Monofásicos Bifásicos Trifásicos Polifásicos	
		CD (dínamo)	Por su forma de excitación:	Serie	
				Shunt, paralelo o derivación.	
	Compuesto	Acumulativo Diferencial			
	<b>Máquinas eléctricas GIRATORIAS MOTORES:</b>	CA	Inducción (asíncrono)	Rotor devanado Jaula de ardilla	
Motor universal					
CD		Por su forma de excitación	Serie		
			Shunt, paralelo o derivación.		
Compuesto	Acumulativo Diferencial				

### 1.2.1 Máquinas simples.

Si desarmamos una máquina complicada, hallaríamos que está formada por una cantidad de elementos más simples.

Existen solo seis clases de elementos básicos, que llamamos “máquinas simples”.

Son: la palanca, el plano inclinado, la cuña, el tornillo, el torno y la polea.

La ley de las máquinas simples establece que el trabajo entregado es siempre igual a la energía aplicada. En realidad, toda máquina tiene cierta cantidad de fricción; como parte del trabajo aplicado se desperdicia en vencer ésta fricción, el trabajo entregado es ligeramente menor que la energía aplicada.

Ahora veremos cada uno de los elementos básicos:

**PALANCA.** Existen tres géneros distintos:

- Palanca de primer género (fig. 1.1), el apoyo o pivote se encuentra entre la carga o resistencia y el esfuerzo o potencia.

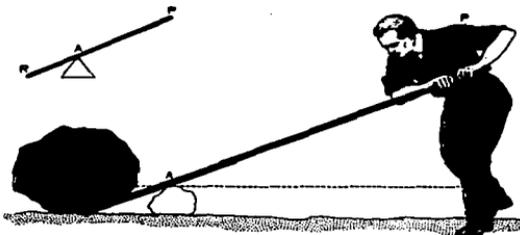


fig. 1.8 Palanca de primer género.

- Palanca de segundo género (fig. 1.2), la carga está situada entre el apoyo y el esfuerzo.

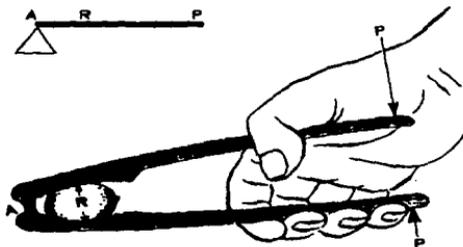


fig. 1.2 Palanca de segundo género.

- Palanca de tercer género (fig. 1.3), aquí se aplica el esfuerzo entre la carga y el apoyo.

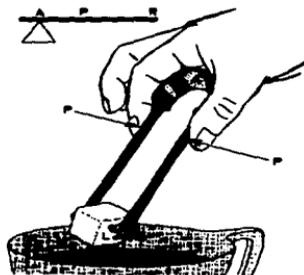


fig. 1.3 Palanca de tercer género.

**PLANO INCLINADO.** Disminuye el esfuerzo requerido para alzar una carga a una altura  $h$  (fig. 1.4). El esfuerzo aplicado sobre la longitud del plano que es la mayor distancia  $d$ .

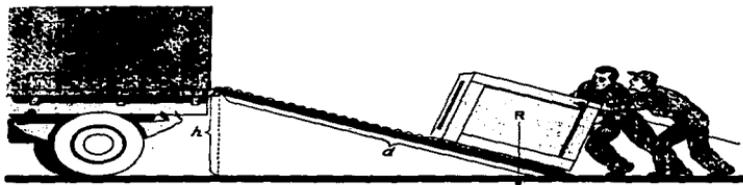


fig. 1.4 Plano inclinado.

**LA CUÑA.** Es en realidad un plano inclinado (fig. 1.5). En lugar de subir la carga por la pendiente, toda la cuña se encaja debajo, o adentro, de la carga. La cuña es ideal para separar dos objetos adheridos entre sí por una gran fuerza.

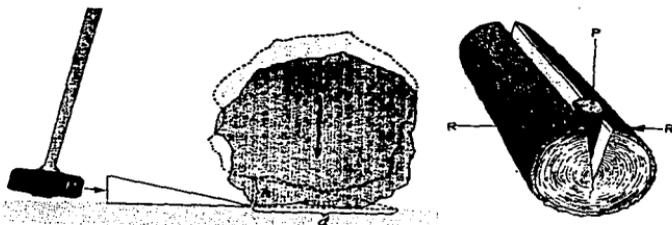


fig. 1.5 La cuña.

**EL TORNILLO.** Se considera como un plano inclinado, si observamos un tornillo (fig. 1.6) se verá que es un plano constantemente curvado hacia arriba alrededor de un eje central. Los tornillos se usan ampliamente para aplicar una fuerza muy grande con poco esfuerzo.

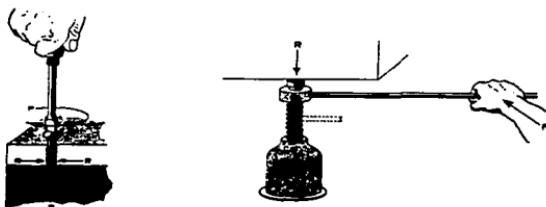


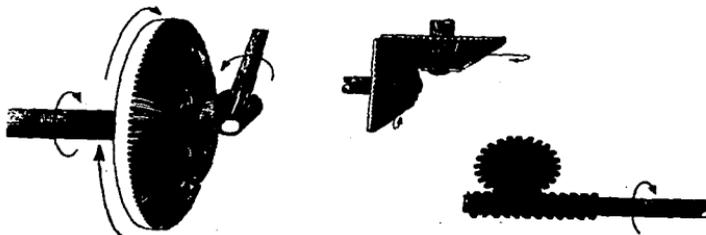
fig. 1.6 El tornillo.

**EL TORNO.** Su principio es simple utilizando una rueda, un eje y una manivela. Si lo empleamos para obtener agua de un pozo el brazo de la manivela gira (fig. 1.7), describe un círculo completo. Cuando aplicamos una fuerza y giramos la rueda una vuelta completa, el eje también cumplirá una revolución alzando una longitud de soga igual a su circunferencia.



fig. 1.7 El torno

Una rueda con dientes tallados en su contorno se llama engranaje (fig. 1.8). Cuando se engranan entre sí los dientes de dos engranajes, uno de ellos puede hacer girar al otro. Cada engranaje está acoplado a un eje; uno suministra fuerza y el otro mueve la carga. Por lo tanto un par de engranajes cumple la misma función que un torno.



**fig. 1.8 Engranaje.**

La ventaja mecánica de un par de engranajes depende del número de dientes de cada uno de ellos, lo cual se conoce como "relación de engranaje".

**POLEAS.** La clase más sencilla consiste de sólo una soga pasada sobre una rueda acanalada y enganchada a una carga (fig. 1.9). Cuando se tira de la soga, la polea gira, pero sin moverse hacia arriba o abajo.

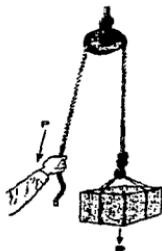


fig. 1.9 La polea.

Este tipo de polea no tiene ventaja mecánica. Para tener una ventaja mecánica debe existir por lo menos una polea que pueda moverse junto con la carga, a esto se le conoce como aparejo (fig. 1.10).

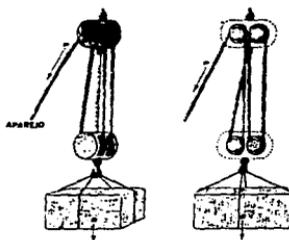


fig. 1.10 Aparejo

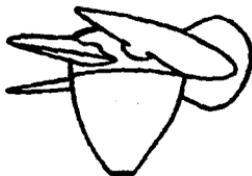
### 1.2.2 Máquinas de fluido.

Son aquellas en que el fluido proporciona la energía que absorbe la máquina, o bien, es aquella en la que el fluido es el receptor de energía.

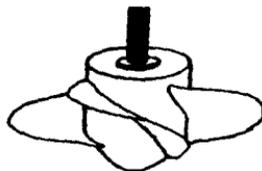
Las máquinas de fluidos se clasifican en: máquinas hidráulicas y máquinas térmicas.

### 1.2.3 Máquina hidráulica.

Es aquella en la que el fluido que intercambia su energía, no varía sensiblemente su densidad en su paso a través de la máquina, por lo tanto su volumen específico es constante (fig. 1.11).



a) Rodete Kaplan



b) Rodete Hélice

fig. 1.11 Tipos de rodetes.

### 1.2.4 Máquina térmica.

Es aquella en la que el fluido que intercambia su energía, cambia su densidad en su paso a través de la máquina, por lo tanto su volumen específico también varía, debido esto a los incrementos de temperatura que ocasiona la máquina al fluido.

Estas también pueden clasificarse en turbomáquinas y máquinas de desplazamiento positivo.

En las máquinas de desplazamiento positivo, también llamadas “máquinas volumétricas”, el órgano intercambiador de energía cede parte de ésta al fluido, o bien el fluido al intercambiador siendo ésta energía en forma de presión creada por la variación de volumen.

La turbomáquina es aquella máquina de fluido cuyo principio de funcionamiento es la ecuación de Euler; cuyo estudio y diseño se hace teniendo en cuenta la variación del volumen específico del fluido a través de la máquina.

Las turbomáquinas pueden clasificarse según el sentido que sigue la cesión de la energía, en turbomáquinas motoras y generadoras.

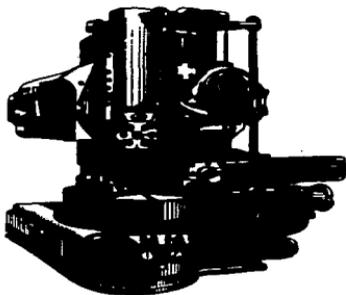
En las turbomáquinas motoras, el fluido cede energía a la máquina. Por ejemplo, en una máquina de vapor, el vapor cede energía a la máquina que la transforma en energía útil para el accionamiento de un alternador.

En las turbomáquinas generadoras, la máquina comunica energía al fluido. Por ejemplo, una bomba centrífuga comunica energía (presión) al agua. Por lo que el agua tiene más presión a la salida que a la entrada.

### **1.2.5 Máquinas herramientas.**

Aparato mecánico que permite fabricar piezas de máquinas. Las máquinas herramientas principales son:

Tornos (fig. 1.12), taladradoras, fresadoras, limadoras, amoladoras y rectificadoras.



**fig. 1.12 Torno vertical**

Todas estas máquinas trabajan por arranque de material de las piezas trabajadas.

Las máquinas herramientas permiten dar a las piezas metálicas debastadas por el forjado o precedentes de las fundición, las cotas previstas con exactitud sobre los planos y darles en la superficie, el acabado y el pulido necesarios para reducir los frotamientos. Permiten una ejecución rápida y precisa de los ajustes.

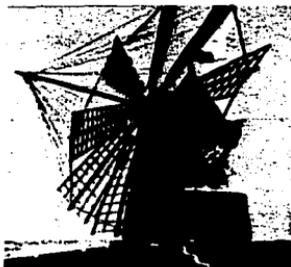
### 1.2.6 Máquinas eólicas.

Son aquellas máquinas que emplean la energía del viento para generar o producir energía mecánica o eléctrica.

#### 1.2.6.1 Energía eólica.

El viento es una manifestación indirecta de la energía solar que recibe nuestro planeta . Se calcula que un 0.7% de la atmósfera acaba transformada en la energía cinética de los vientos, ésta si se mueve a alta velocidad puede ser transformada en energía útil ya sea mecánica o eléctrica.

La fuerza eólica fue reconocida como fuente energética desde tiempos muy remotos. Las primeras referencias históricas sobre el aprovechamiento del viento para mover máquinas son unos molinos de eje vertical (fig. 1.13) en lo que hoy es Irán y Afganistán hacia el siglo V a.c., en Europa se tiene constancia de la construcción de molinos de viento a partir del siglo XII d.c..



a)



b)

fig. 1.13 a) Molino europeo

b) Un típico de viento inglés localizado en Outwoot, Surrey. Construido en 1665, es el más antiguo molino de viento que aún trabaja en Inglaterra.

La invención de la máquina de vapor y su aplicación a la molienda significó el abandono casi total de los molinos de viento, ya que estos no podían competir en horas de funcionamiento.

No obstante a principios del siglo XX, en los Estados Unidos todavía funcionaban más de seis millones de pequeños aeromotores que se utilizaban para bombear agua de los pozos.

Hoy la eólica es una fuente de energía plenamente competitiva frente a las fuentes convencionales, como lo demuestran las experiencias de los parques eólicos de California en Norteamérica y de Dinamarca en Europa, con potencias instaladas de 1800MW y 500MW respectivamente (fig. 1.14).

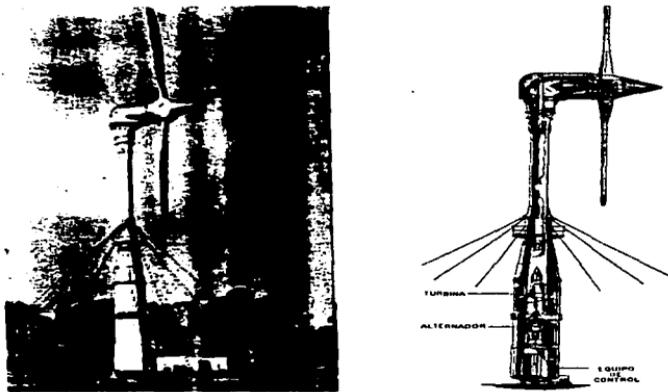


fig. 1.14 Vista de la instalación y vista interna de un aerogenerador de 100 KW.

### 1.2.6.2 Generación eolieléctrica

La generación de energía eléctrica por medio de un generador (fig. 1.15) es posible cuando el viento tiene una velocidad superior a los 4.5 metros por segundo, alcanzando su potencia nominal cuando el viento llega a los 15 metros por segundo.

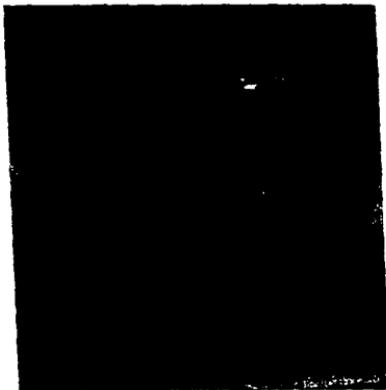


fig. 1.15 Aerogenerador de tres aspas.

La potencia aprovechable aumenta con la altura, por lo que mientras más alto se instale un aerogenerador, mayor será la potencia generada. La vegetación existente en las zonas de alto viento reduce la velocidad del mismo, además de generar turbulencias y remolinos que afectan la eficiencia de los aerogeneradores, este efecto es importante por lo que su instalación es conveniente en sitios de alto viento con velocidades entre los 4.5 y 25 metros por segundo, localizados en terrenos planos, en lagunas costeras o en el mar donde las interferencias son mínimas.

### 1.2.7 Máquinas eléctricas.

Son aquellas máquinas (fig. 1.16) que transforman la energía mecánica en eléctrica (generadores) o la energía eléctrica en energía mecánica (motores).

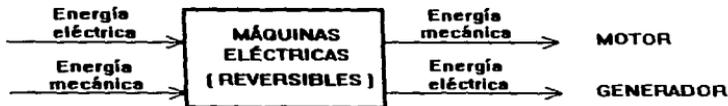


fig. 1.16 Clasificación general de las máquinas eléctricas.

Y se dividen en dos grupos:

#### 1) Por su diseño o construcción

A éste importante grupo de máquinas que se definen como giratorias, debido a que una de sus partes constitutivas gira sobre sí misma, se agrega otro grupo importante de máquinas, que basándose en el fenómeno de inducción electromagnética, no tienen partes en movimiento y se definen por lo tanto estáticas y por medio de las cuales es posible variar el voltaje de un valor bajo a otro elevado y viceversa con la consecuente variación de las corrientes en forma inversa a los voltajes, manteniendo la potencia prácticamente constante. A estas máquinas se les conoce como transformadores.

- 2) Las máquinas eléctricas ya sean giratorias o estáticas, se pueden clasificar también de acuerdo con el tipo de corriente que usan cuando son alimentadas o que generan cuando representan una fuente de energía, de manera que se tienen las llamadas máquinas de corriente directa y máquinas de corriente alterna.

Veamos ahora su clasificación de forma más general:

#### **a) Máquinas giratorias**

- **Generadores:**

Los generadores transforman la energía mecánica ( producida por turbinas hidráulicas, de vapor, o por motores de combustión interna ) en energía eléctrica de corriente alterna ( la mayoría de las veces ) o en corriente directa.

Cuando se produce corriente alterna, los generadores reciben también el nombre de alternadores y cuando producen corriente directa los generadores también se les conoce como dinamos.

- **Motores**

Los motores transforman la energía eléctrica en energía mecánica, es decir, que la energía eléctrica, está en posición de dar movimiento una parte giratoria que se conoce en general como rotor y que transmite su movimiento a otras partes mecánicas que accionan a las máquinas sobre las cuales actúan.

De acuerdo con la corriente que los acciona pueden ser de corriente alterna (dentro de ésta categoría se tienen lo llamados motores asíncronos y los motores síncronos) y de corriente directa, conociéndose las máquinas que se alimentan con éste tipo de corriente como máquinas de corriente continua o directa.

Otra tipo son los motores universales, los cuales son motores en serie de potencia fraccional, de corriente alterna, diseñados especialmente para usarse en potencia de corriente directa o corriente alterna.

Estos motores tienen la misma característica de velocidad y par cuando funcionan en corriente alterna o en corriente directa.

**b) Máquinas estáticas.**

• **Transformadores:**

Transforman elevando o bajando los parámetros fundamentales que caracterizan a una potencia eléctrica, es decir el voltaje y la corriente, permaneciendo constante la potencia, funcionan sólo con corriente alterna.

• **Convertidores e inversores:**

Transforman la corriente alterna en corriente directa ( convertidores ) o la corriente directa en corriente alterna ( inversores ), en la actualidad son una combinación de distintos dispositivos electrónicos de potencia y elementos eléctricos.

## CAPÍTULO 2

### MOTOR DE C.D.

#### 2.1. Definición.

El nombre de máquina de corriente continua viene del tipo de corriente con el que operan éstas máquinas, por lo que también se las conoce como máquinas de corriente directa, aún cuando en realidad sí existe una diferencia entre los términos corriente directa y corriente continua, en el sentido estricto, desde el punto de vista del estudio de las máquinas eléctricas se hace referencia al mismo tipo y su denominación se puede usar en forma indistinta.

#### 2.2 Principio de funcionamiento.

El principio de los motores eléctricos es el siguiente:

Si a una espira dentro de un campo magnético (fig. 2.1) se le suministra con una corriente eléctrica, en ésta aparecen fuerzas de sentido contrario, por lo que la resultante es un par que hace que la espira gire perpendicularmente a las líneas de flujo ( de acuerdo con su disposición original).

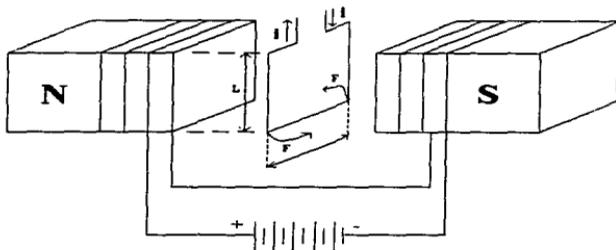


fig. 2.1 Principio del motor

La fuerza que produce el par de giro se obtiene con la expresión:

$$F = BIL\cos\theta \quad (2.1)$$

Donde:

**F** = Fuerza [N]

**B** = Densidad del Flujo magnético [T]

**L** = Longitud de un lado de la espira [m]

$\theta$  = Ángulo que forma el eje transversal de la espira con la dirección del flujo magnético.

De la fórmula ( 2.1 ), se obtiene la expresión que permite calcular el par de giro como :

$$T = BILd \cos\theta \quad (2.2)$$

Donde:

T = par de giro

d = la distancia entre los dos conductores [m]

La expresión para el par se puede escribir en función del área ( A ) de la espira, cuyo valor es:

$$A = L d \quad (2.3)$$

y recordando que el flujo magnético, en términos de la densidad del flujo y el área de la espira que corta es:

$$F = B A \quad (2.4)$$

se tiene:

$$T = BILd \cos\theta = F l \cos\theta \text{ [N/m]} \quad (2.5)$$

De lo anterior se puede afirmar que el momento del par es directamente proporcional a la cantidad de flujo magnético que atraviesa a la espira y a la corriente que conduce (fig. 2.2).

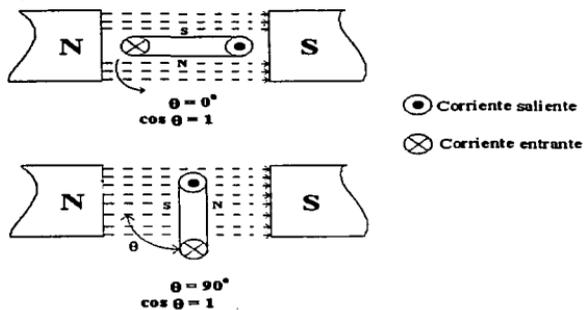


fig. 2.2 Posición de la espira con respecto al flujo magnético

Sobre este principio se basan los motores eléctricos, es decir, suministrando a la espira con una corriente eléctrica se obtiene un par mecánico, entendiéndose por PAR a la acción de dos fuerzas iguales ( $F_1$ ,  $F_2$ ) paralelas y de sentido contrario aplicadas a un cuerpo (fig. 2.3), el cual tiende a girar alrededor de un eje perpendicular al plano del par. El par se mide con el momento ( $M$ ) cuyo valor se calcula del producto de la fuerza ( $F$ ) por el brazo ( distancia entre las dos fuerzas ). Tal distancia se identifica con el diámetro ( $d$ ) de manera que se puede escribir:

$$M = F_1 r + F_2 r \quad (2.6)$$

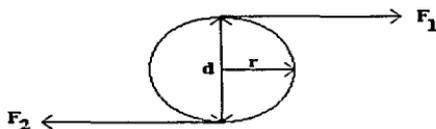


fig. 2.3 Par de fuerzas

Como  $F_1$  y  $F_2$  son iguales se puede escribir:

$$M = 2Fr \quad (2.7)$$

pero como

$$2r = d \quad (2.8)$$

se tiene:

$$M = Fd \text{ [N m]} \quad (2.9)$$

### 2.3. Elementos de diseño y construcción.

Las máquinas de C.D. están integradas por :

- 1) Un inductor que está constituido por el campo magnético, esto es, al girar la espira en el interior del campo magnético se tiene un flujo magnético variable, lo cual da lugar al fenómeno de inducción electromagnética.
- 2) Un inducido, sobre el cual se produce el fenómeno electromagnético de inducción, es en esta parte en donde se presenta la corriente inducida como resultado de la fem inducida al haber un flujo magnético variable.
- 3) Un conmutador o colector de laminaciones con su sistema de escobillas y portaescobillas, que tiene la función de "rectificar" la corriente que se induce en el rotor bajo la forma de corriente alterna (en el generador), para obtener corriente directa.

Las máquinas de C.D. deben tener principalmente las partes siguientes:

#### • Partes magnéticas.

Son las partes de material magnético que tienen la función de contener el flujo magnético en forma eslabonada y constituyen lo que se conoce como el flujo magnético de la máquina, y tienen por lo tanto:

- a) El núcleo magnético o polos en la parte fija o estática de la máquina.
- b) El núcleo magnético del rotor (que gira con el eje).

- **Partes eléctricas.**

Devanados del inductor, que son bobinas devanadas en los polos.

El devanado de armadura ( inducido ), son las bobinas localizadas en la parte giratoria de la máquina, que se les conoce en las máquinas de C.D. como la armadura.

- **Partes mecánicas.**

Son las necesarias para la iniciación del movimiento rotatorio o giratorio y son principalmente el árbol, los cojinetes o chumaceras, el sistema de lubricación etc.

Para la conexión o ensamble de las distintas partes mecánicas se requiere de tornillos, tapas del yugo, tuercas, chavetas, pernos, etc.

Una descripción más detallada de los elementos que constituyen una máquina de C.D. se da a continuación.

### **2.3.1 El estator.**

El estator de las máquinas de C.D. (fig. 2.4) está constituido por el yugo o carcasa que es básicamente un cilindro de acero, fierro y hasta de chapa laminada, su sección es de forma variable y no se encuentra sujeta a variaciones de flujo, su trabajo es mas bien mecánico, ya que tiene la función de soportar los polos y con las tapas que se localizan en ambos extremos por medio de las chumaceras soporta a la parte giratoria o armadura.

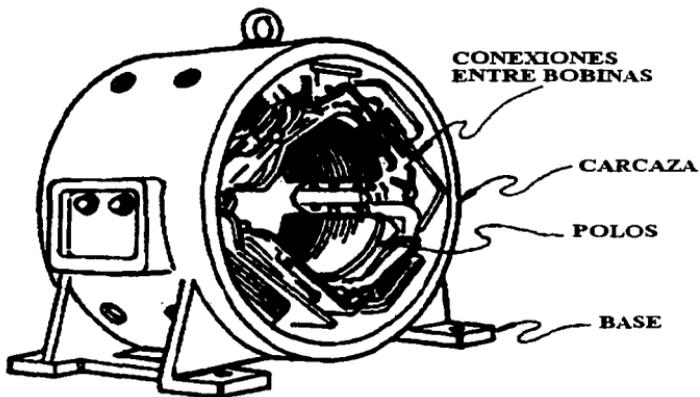


fig. 2.4 Estator

### 2.3.2 Los polos.

Los polos constituyen la parte principal del circuito magnético del inductor, se pueden construir en forma maciza o bien de laminaciones (fig. 2.5), esta última solución es preferida debido a que con esta opción se logran absorber las ligeras variaciones de flujo debidas al paso del flujo del polo al rotor a través del entrehierro.

Las laminaciones tienen un recubrimiento de barniz aislante y están unidas entre sí por medios mecánicos.

El polo está construido en una parte con sección cuadrada o rectangular en la cual se colocan las bobinas, y de una expansión o zapata polar en la extremidad.

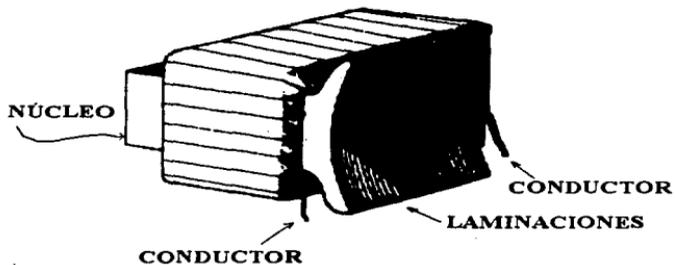


fig. 2.5 Núcleo polar laminado y devanado de campo

Los polos se fijan al yugo o carcasa por distintos medios (fig. 2.6), el uso de tornillo es bastante común, pero también se puede usar el sistema de pija.



fig. 2.6 Polos para máquinas de C.D.

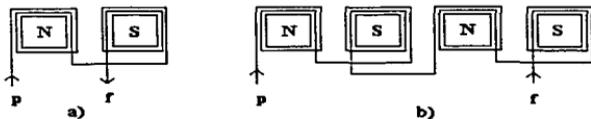
- a) Con cara polar laminada.
- b) Con cara polar sólida núcleo polar.

### 2.3.3 Bobinas inductoras.

Estas bobinas pueden ser constructivamente diferentes, según sea el tipo de excitación de la máquina, como se verá más adelante, existen diferentes denominaciones y características de operación de las máquinas de C.D. según sea la conexión existente entre los devanados de los polos ( inductores ) y los de la parte giratoria o armadura ( inducido ).

En la construcción de las bobinas inductoras, aún cuando se usan alambres aislados ( recubiertos de barniz aislante ) con algodón o materiales sintéticos es conveniente que a las bobinas se les de un baño de barniz aislante que además de reforzar el aislamiento le da mejor consistencia mecánica a la bobina.

La conexión entre las bobinas (fig. 2.7) que se colocan sobre los polos se debe hacer de manera que se obtenga polaridad de sentido opuesto en forma alternativa.



**fig. 2.7 Conexión entre bobinas inductoras**

**a) Para máquinas de dos polos**

**b) Para máquinas de cuatro polos**

Entre los polos inductores se encuentran localizados (a excepción de las máquinas de muy pequeña potencia) los llamados polos auxiliares (polos de conmutación).

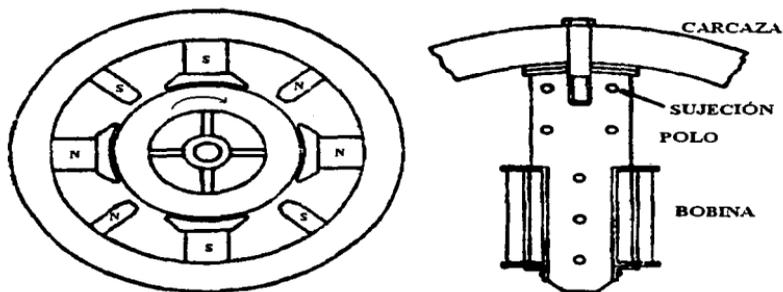


fig. 2.8 Distribución de polos (principales y auxiliares) y detalle del polo auxiliar

Estos polos auxiliares están formados de un núcleo de sección más pequeña que la de los polos principales (fig. 2.8), la bobina es similar (fig. 2.9) a la que se inserta en los llamados polos principales de la máquina y son semejantes a los de las máquinas con excitación serie.

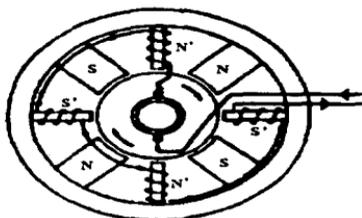


fig. 2.9 Conexión de polos auxiliares

### 2.3.4 El rotor.

El rotor, o parte giratoria de las máquinas de C.D. (fig. 2.10) está constituido por el inducido o armadura y el colector o conmutador.

El inducido o armadura está formado por un núcleo de discos o anillos ranurados de lámina magnética aisladas y montadas sobre el árbol.

Las laminaciones son por lo general de 0.4 a 0.5 [mm] de espesor y es deseable que sean tan delgadas como sea posible para reducir las pérdidas por corrientes circulantes en el núcleo.

Para máquinas grandes o que operan con alta velocidad se usa normalmente laminación de acero al silicio, estas láminas tienen una capa delgada de barniz.

En máquinas grandes las laminaciones se forman en bloques separados por separadores de ventilación.

Las ranuras del núcleo o armadura sirven para alojar al llamado devanado de armadura y se localizan en la periferia del rotor, pudiendo haber diferentes tipos de ranuras, dependiendo del tamaño, velocidad de operación de las máquinas y tipos de conductor para las bobinas.

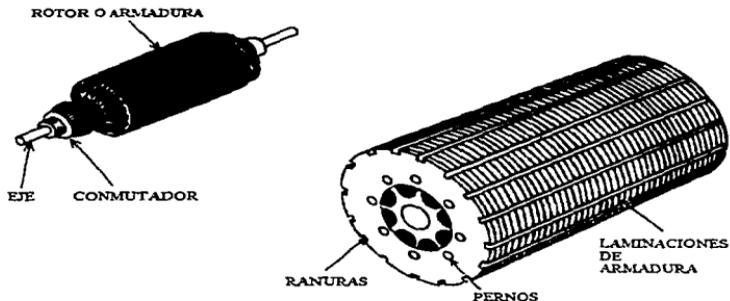


fig. 2.10 Partes del rotor o armadura.

### 2.3.5 El colector ( conmutador ).

El colector de las máquinas de C.D. está constituido por una serie de segmentos de cobre duro de sección trapezoidal (fig. 2.11), los segmentos se encuentran eléctricamente aislados y separados por hojas de mica de 0.8 mm de espesor por lo general.

Los segmentos de cobre con su aislamiento se unen de modo que forman un cilindro hueco que se monta sobre una base de acero cilíndrico y sujeta por medio de anillos.

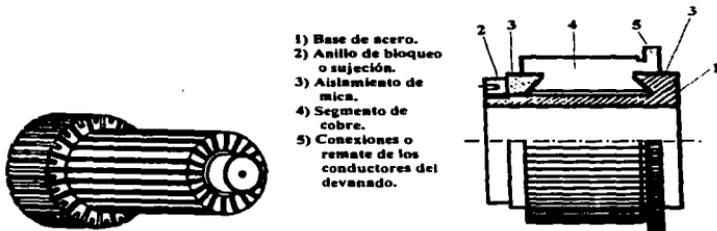


fig. 2.11 El colector y las partes que lo constituyen

El aislamiento de mica entre segmentos o delgas del colector deben estar ligeramente sumidas con respecto al cobre para evitar que se dañen las escobillas que están en contacto.

Durante la operación de las máquinas de C.D. se debe tener especial atención con el mantenimiento de los colectores ya que después de cierto tiempo de trabajo se tiene un pequeño deterioro en la superficie del colector, sobre la que se apoyan las escobillas y es necesario efectuar una rectificación de la superficie.

### 2.3.6 Escobillas.

Las escobillas sirven para permitir el paso de la corriente al colector y se ajustan sobre éste en forma de contactores a presión por medio de portaescobillas.

Se fabrican por lo general de tres tipos:

- De metal grafitado.
- De carbón grafitado.
- De electro-grafito.

El tipo de escobilla que se use depende de la velocidad periférica del conmutador y también del voltaje de trabajo.

La densidad de corriente de las escobillas se expresa en  $[A/mm^2]$  o  $[A/cm^2]$  y no debe superar determinados límites de acuerdo con el material usado, del tipo de escobilla y de su sección.

Para reducir el desgaste de los segmentos del conmutador, es conveniente lubricar ligeramente la superficie.

En la construcción de las escobillas se puede observar que en la parte superior opuesta a la superficie de contacto generalmente están cobrizadas y algunas veces estañadas (fig. 2.12).

El objetivo de este cobrizado o estañado, es asegurar el fácil paso de la corriente de la escobilla al circuito externo y garantizar la sujeción mecánica.

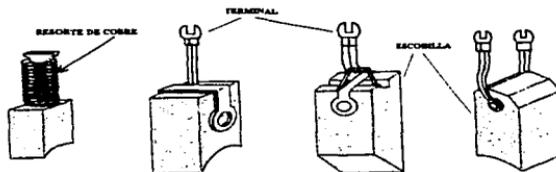


fig. 2.12 Tipos de escobillas

### 2.3.7 Porta escobillas.

Sobre la carcaza o yugo de la máquina o sobre de una de las tapas se encuentra fijo un anillo que puede girar parcialmente con respecto a la parte fija de la máquina, sobre tal anillo se tienen elementos de sujeción para el soporte de los porta escobillas.

La posibilidad de movimiento del anillo se tiene para poder regular la posición de las escobillas sobre el llamado plano de conmutación.

Los porta escobillas pueden adoptar distintas formas (fig. 2.13) con relación a las características constructivas de la máquina, pero independientemente de la forma, siempre están constituidas por las siguientes partes:

- Un soporte metálico ( por lo general de bronce) a través del cual se fija el porta escobillas al árbol o elemento de sujeción, con un aislamiento interpuesto.
- Una caja que sirva de guía a la escobilla.
- Un mecanismo de resorte que sirva para ejercer sobre la escobilla la presión contra el colector , esta presión se encuentra dentro del rango de 100 a 200  $[g/cm^2]$ .
- Cable de cobre desnudo para hacer la conexión entre la escobilla y el circuito externo.

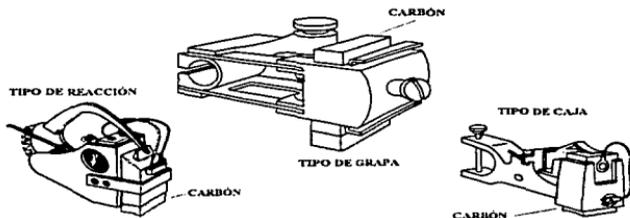


fig. 2.13 Tipos de portaescobillas.

### 2.3.8 El árbol o flecha.

El árbol de cualquier máquina eléctrica giratoria se construye por lo general con acero de calidad, se les procesa mecánicamente por torneado y rectificación y posteriormente se les somete a un tratamiento térmico.

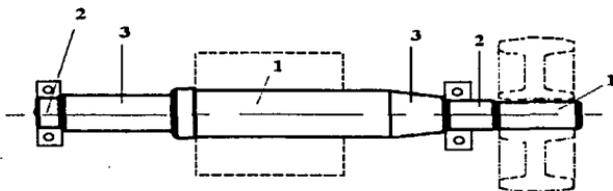
En la mayoría de los casos se construyen árboles macizos o llenos y sólo en las máquinas de gran potencia se construyen tubulares para reducir su peso.

Cada árbol o flecha está caracterizado por tres partes (fig. 2.14) que son:

- a) Asiento o base: Es la parte sobre la que se montan las partes en movimiento, en éste caso el rotor.
- b) Pernos: Son las partes en contacto con los cojinetes o chumaceras.
- c) Tallo: Es la parte intermedia que conecta la base con los pernos.

Entre el rotor y el árbol se debe realizar una conexión rígida, para tal fin en las máquinas de pequeña potencia pueden ser graduadas o lisas las bases, en cualquier caso el árbol se fija al rotor a presión.

En consecuencia es muy importante evitar interferencia para no tener deformaciones entre las partes conectadas.



- 1) Base.
- 2) Pernos sobre los cuales operan los cojinetes.
- 3) Tallo que interconecta la base y los pernos.

fig. 2.14 Partes de un árbol.

### **2.3.9 Cojinetes o chumaceras.**

Los cojinetes o chumaceras que se usan en la construcción de máquinas eléctricas rotatorias pueden ser de dos tipos:

#### **a) Cojinetes de rozamiento:**

En éstos una amplia porción del perno se encuentra en contacto con un anillo de bronce, la lubricación se realiza por medio de un anillo que toma de un ranurado el aceite.

Estas chumaceras se usan poco debido a que requieren mayor mantenimiento que las denominadas de rodamientos, que además de que requieren menos mantenimiento, disipan menos potencia por fricción.

#### **b) Cojinetes de rodamientos:**

Pueden ser de dos tipos : 1) De esferas.  
2) De rodillos.

En ambos casos, como en los cojinetes de rozamiento, es muy importante la lubricación en los programas de mantenimiento.

## 2.4 Tipos de motores de C.D.

Los motores de C.D. se pueden clasificar o denominar de acuerdo con la conexión entre el devanado de campo y la armadura. Todos los motores de C.D. deben recibir su excitación de una fuente externa, es decir, son de **excitación separada**.

Atendiendo a lo anterior, básicamente se tienen los tipos de motores siguientes:

- 1) Motores con conexión serie.
- 2) Motores con conexión derivación (Shunt).
- 3) Motores con conexión compuesta o mixta (Compound).

### 2.4.1 Motores de C.D. en conexión serie.

En los motores de C.D. en conexión serie (fig. 2.15), el devanado de campo se encuentra conectado en serie con la armadura, de manera que la corriente total que demanda pasa por el devanado de campo y también por la armadura.

Por lo general consiste de pocas espiras de sección considerable.

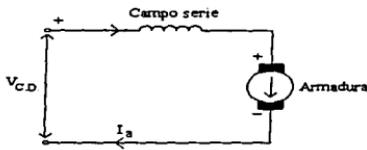


fig. 2.15 Motor en conexión serie.

Las relaciones principales para el motor serie son las siguientes:

- $I_a$  : Corriente en la armadura.
- $I_{se}$  : Corriente en el devanado de campo en serie.
- $I$  : Corriente de alimentación.

$$I = I_a = I_{sc} \quad (2.10)$$

La fuerza contra electromotriz desarrollada es:

$$E_b = V - I ( R_a + R_{sc} ) \quad (2.11)$$

La potencia demandada es:

$$P = V I \quad (2.12)$$

donde:

**V:** Voltaje de alimentación

siendo la potencia desarrollada:

$$P_{Desarrollada} = P_{Potencia\ de\ entrada} - P_{Pérdidas} \quad (2.13)$$

$$P_{Desarrollada} = V I - I^2 ( R_a + R_{sc} ) \quad \text{en armadura y campo} \quad (2.14)$$

$$P_{Desarrollada} = E_b I \quad (2.15)$$

#### 2.4.2. Motores de C.D. en conexión shunt.

Los motores en conexión shunt tienen el devanado de campo en paralelo con la armadura (fig. 2.16), la corriente alimentada al motor se divide en dos trayectorias, una a través del devanado de campo y la segunda por la armadura.

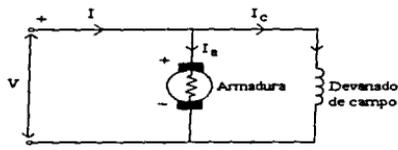


fig. 2.16 Motor en conexión shunt

La corriente de alimentación al motor es:

$$I = I_a + I_c \quad (2.16)$$

donde:

$I_a$  : Corriente de armadura.

$I_c$  : Corriente de campo que se calcula como:

$$I_c = V / R_c \quad (2.17)$$

donde:

$R_c$  : Resistencia del devanado de campo.

La fuerza contra electromotriz desarrollada es:

$$E_b = V - R_a I_a \quad (2.18)$$

La potencia de entrada al motor es:

$$P = V I \quad (2.19)$$

La potencia desarrollada en la armadura es:

$$P_{\text{Desarrollada}} = P_{\text{Potencia de entrada}} - P_{\text{Pérdidas en armadura + Campo}} \quad (2.20)$$

$$P_D = V I - V I_c - R_a I_a^2 = V (I - I_c) - R_a I_a^2 \quad (2.21)$$

$$\text{como: } I_a = I - I_c \quad (2.22)$$

$$P_D = V I_a - R_a I_a^2 = I_a (V - R_a I_a) \quad (2.23)$$

pero también:  $E_b = V - R_a I_a$

entonces:

$$P_D = E_b I_a \quad (2.24)$$

### 2.4.3 Motores de C.D. en conexión mixta o compound.

Los motores de C.D. en conexión compound pueden ser de cualquiera de los dos tipos siguientes:

- **Compound acumulativa.**

El motor de C.D. con el devanado de campo serie conectado de tal manera que la dirección del flujo de corriente sea la misma que la del devanado de campo (conectado en paralelo) se dice que es compound acumulativo (fig. 2.17).

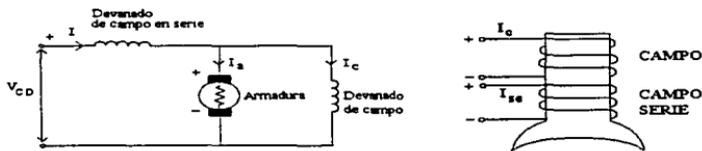


fig. 2.17 Motor de C.D. en conexión compound acumulativa.

- **Compound Diferencial.**

En los motores de C.D. compound con conexión diferencial (mixto diferencial) los devanados de campo (fig. 2.18) están conectados en tal forma que la dirección de flujo de corriente es opuesta entre los devanados de campo en serie y en paralelo. Es decir, el flujo del devanado del campo en serie debilita al devanado de campo en paralelo.



fig. 2.18 Motor de C.D. en conexión Compound diferencial.

## 2.5 Características de operación de los motores de C.D.

Las características de operación de los motores de C.D. se expresan por lo general por medio de curvas que se determinan experimentalmente y que expresan la información básica del comportamiento en las condiciones de operación de estado permanente, es decir, cuando no hay fenómenos transitorios, las curvas características más importantes de los motores de C.D. son las siguientes:

- **Curva característica par-corriente de armadura.**

Por medio de ésta curva se expresa la relación entre el par mecánico ( $T$ ) y la corriente de armadura  $I_a$ . Esto se conoce también como la "característica eléctrica."

- **Curva característica velocidad-corriente de armadura.**

Por medio de ésta curva se expresa la relación entre la velocidad  $N$  y la corriente de armadura  $I_a$ .

- **Curva característica velocidad-par.**

Esta curva se conoce también como la "curva mecánica" y da la relación entre la velocidad  $N$  y el par  $T$ .

## 2.6 Características de los motores con excitación en serie.

Como hemos mencionado, en estos motores la corriente de alimentación circula, tanto por el devanado de campo en serie, como por la armadura (fig. 2.19).

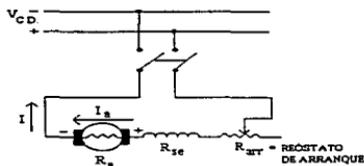


fig. 2.19 Motor con excitación en serie.

Las relaciones fundamentales para la conexión serie son:

$$T = K \phi I_a \quad (2.25)$$

$$E_b = V - I_a (R_a + R_{sc}) \quad (2.26)$$

y la velocidad:

$$N = (V - (R_a + R_{sc}) I_a) / (K \phi) \quad (2.27)$$

donde:  $I_a = I$  = corriente de alimentación.

Hasta que no se llega al límite de saturación en el fierro, el flujo  $\phi$  resulta proporcional a la corriente  $I$ , en este intervalo, y dado que la corriente absorbida es relativamente pequeña, el par resultante obtenido es proporcional al cuadrado de la corriente. Cuando la corriente adquiere valores que saturan el circuito magnético de la máquina, el par resulta ser proporcional a la corriente, debido a que el flujo tiende a permanecer casi constante.

#### a) Curva característica par-corriente de armadura.

Esta curva expresa la relación par como una función de la velocidad  $T = f(I)$ .

En ésta curva (fig. 2.20) se puede indicar el par de alimentación a las pérdidas como una componente del par desarrollado por el motor, la diferencia da el par neto o par útil del motor ( $T_f$ ).

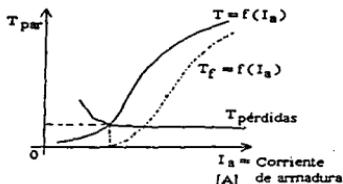


fig. 2.20 Curva característica par - corriente de armadura para el motor serie de C.D.

### b) Curva característica velocidad-corriente de armadura.

Esta curva característica (fig. 2.21) da la velocidad como una función de la corriente de armadura  $N = f(I_a)$  ya que el flujo crece proporcionalmente a la corriente, lleva a la ecuación:

$$N = ( [ V - ( R_a + R_{sc} ) I_a ] / \phi Z P ) (60 a / P) \quad (2.28)$$

si se considera despreciable el término:  $( R_a + R_{sc} ) I_a$  a ésta ecuación:

$$N = ( V 60 a ) / ( \phi Z P ) \quad (2.29)$$

Le corresponde principalmente una curva hiperbólica, en donde la velocidad es inversamente proporcional a la corriente que demanda el motor. Para valores de corriente elevados, el flujo a causa de la saturación permanece casi constante, entonces el término  $( R_a + R_{sc} ) I_a$  no es despreciable y la velocidad tiende a disminuir más rápidamente y la hipérbola en ésta sección se convierte en un trazo lineal hasta llegar a  $N = 0$ , que corresponde a una corriente:

$$I_a = V / ( R_a + R_{sc} + R_{arr} ) \quad (2.30)$$

Donde:  $R_{arr}$ : Resistencia del reóstato de arranque.

En cuanto el motor se arranca y acelera la corriente absorbida se va limitando debido a la acción de la fuerza contraelectromotriz en el inducido o armadura y que es gradualmente creciente. El reóstato de arranque se puede quitar cuando el motor alcanza su velocidad nominal.

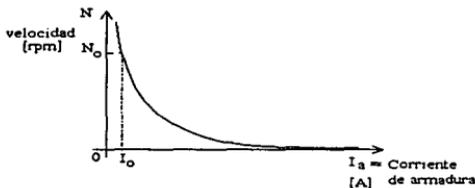


fig. 2.21 Curva velocidad vs corriente de armadura para el motor serie de C.D.

La caída de voltaje interna: -

$$(R_a + R_{sc})I_o \quad (2.31)$$

Es prácticamente despreciable y entonces la velocidad de vacío adquiere valores muy elevados cuyo valor se obtiene de acuerdo con la relación:

$$N_o = V / (K\phi_o) \quad (2.32)$$

Siendo  $\phi_o$ : el flujo en vacío.

$$K = (P N) / (60 a) \quad (2.33)$$

Debido al riesgo que representa el motor en conexión serie, para alcanzar velocidades muy elevadas, su uso se debe de limitar a aquellos tipos de accionamiento que por su propia constitución incluyen el funcionamiento en vacío, como por ejemplo, para tracción eléctrica, elevadores y aplicaciones similares.

### c) Curva característica velocidad - par.

De la curva par-corriente de armadura ( $T = f(I_a)$ ) y la curva velocidad corriente de armadura ( $N = f(I_a)$ ), se puede obtener la curva velocidad-par, también conocida como la característica mecánica del motor (fig. 2.22), en donde se muestran en un diagrama los valores del par y de la corriente, que corresponden a los mismos valores de corriente.

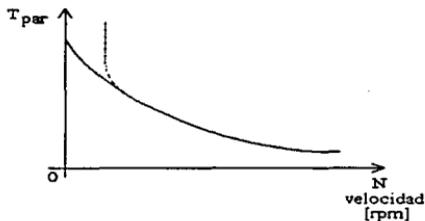


fig. 2.22 Curva par - velocidad para el motor serie de C.D.

De la curva anterior se puede observar que en los motores con excitación serie, se hace corresponder a cada aumento del par de carga, una disminución de velocidad relevante y viceversa, a cada disminución de velocidad un aumento en el par.

El valor del par desarrollado en la armadura, está dado como:

$$T_a = (E_b I_a) / (2\pi N/60) \quad (2.34)$$

Por otra parte, el flujo es substancialmente proporcional a la corriente y ésta a su vez es inversamente proporcional a la velocidad  $N$ .

### 2.7 Características de los motores con excitación en derivación (shunt).

En la siguiente figura (fig. 2.23) se muestra a la corriente de alimentación  $I$  que pasa en parte por el devanado de campo o excitación y el resto por el devanado de armadura o inducido.

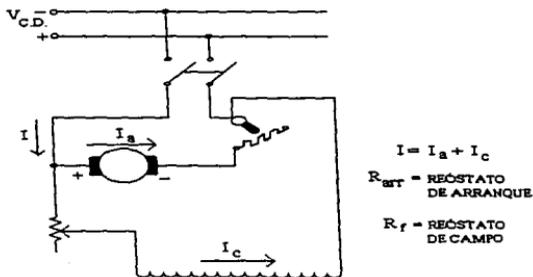


fig. 2.23 Motor en conexión shunt.

Debido a que el circuito de excitación está conectado en paralelo con las terminales del motor, la corriente de campo, depende del voltaje de alimentación  $V$ , y si ambos son constantes, el flujo también lo es.

Las ecuaciones fundamentales que describen el comportamiento del motor de C.D. en conexión en derivación son las siguientes:

la fuerza contraelectromotriz está dada como :

$$E_b = V - R_a I_a \quad (2.35)$$

el par desarrollado en la armadura:

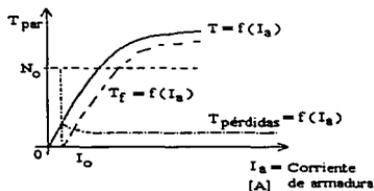
$$T_a = (E_b I_a) / (2\pi N / 60) \quad (2.36)$$

la velocidad:

$$N = [(V - R_a I_a) / \phi Z] [60 a / P] \quad (2.37)$$

Estas expresiones son análogas a las obtenidas para el motor de C.D. con excitación separada por lo que su comportamiento resultará prácticamente de la misma forma.

El par desarrollado por la armadura (fig. 2.24), operando el motor a velocidad constante, es proporcional a la corriente de armadura  $I_a$  y entonces la curva característica par-corriente de armadura  $T = f(I_a)$  es la mostrada en la siguiente gráfica (fig. 2.24).



**fig. 2.24** Curva característica par - corriente de armadura para motores de D.C. en conexión shunt

$T_f = f(I_a)$  Representa la curva del par útil o del par en la flecha.  
 $T_p = f(I_a)$  Representa la curva de la pérdida del par en el motor.

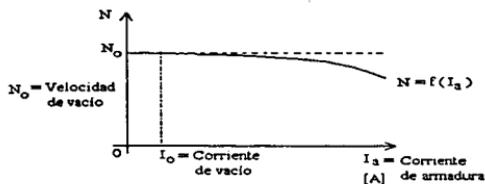
El par útil o en la flecha  $T_r$  se obtiene restando al par desarrollado por la armadura el par de pérdidas.

Siendo la velocidad constante, el voltaje y el flujo dependen sólo de la corriente de armadura  $I_a$ , al aumentar el par, aumenta también la corriente, por lo tanto aumenta también la caída de tensión  $R_a I_a$  y disminuye también la velocidad, pero como el valor de  $R_a I_a$  es siempre pequeño, entonces la velocidad decrece poco al aumentar la carga. De hecho, la variación en la velocidad del motor al pasar de su funcionamiento en vacío al de plena carga, está contenida entre los límites del 2 al 10% de la velocidad de vacío.

La característica velocidad-corriente de armadura,  $N = f(I_a)$ , llamada también característica electromecánica de la velocidad (fig. 2.25), es una recta casi horizontal, la velocidad de vacío  $N_o$ , si se desprecia la caída de tensión  $R_a I_o$ , es casi igual al valor máximo:

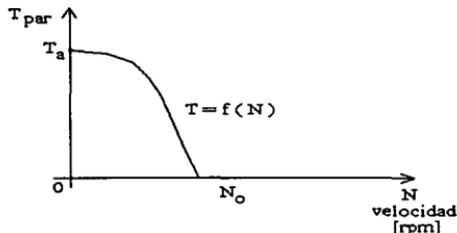
$$N_o = V / K \phi ; \text{ donde } K = ( P N ) / ( 60 a ) \quad ( 2.38 )$$

En correspondencia de la cual la fuerza contraelectromotriz  $E_b$  es igual a la tensión aplicada  $V$ .



**fig. 2.25 Curva velocidad - corriente de armadura para un motor de D.C. en conexión shunt.**

Por otra parte, la característica par-velocidad (fig. 2.26), también llamada curva de característica mecánica para el motor en derivación se obtiene en forma similar que para el motor serie, como una combinación de las curvas par-corriente de armadura y velocidad contra corriente de armadura y se expresa como  $T = f(N)$  y está dada como la curva siguiente:



**fig. 2.26 Curva par - velocidad para el motor de D.C. en conexión en derivación.**

Aquí se puede observar, que sólo para valores bajos de velocidad, y por lo tanto para corrientes muy elevadas, la parte lineal de la curva se dirige hacia el eje, par que corta al eje en el punto  $T_a$ , que representa el par máximo que se obtiene realizando el arranque del motor a plena tensión sin reóstato.

El campo normal de funcionamiento del motor corresponde casi siempre a la parte lineal de la curva característica. En ésta parte la disminución de la velocidad de  $N_o$  a  $N$  se realiza en el paso de vacío a plena carga, que resulta prácticamente despreciable.

De acuerdo con las características descritas anteriormente, los motores de C.D. en derivación se usan para accionar máquinas que deben funcionar a velocidad prácticamente constante a todos los valores de carga, como por ejemplo: bombas, ventiladores, máquinas herramientas, etc.

### **2.8 Características del motor en conexión mixta ( Compound ).**

Las características de los motores de C.D. en conexión mixta o compound son de hecho una combinación de las características de los motores en conexión serie y de las de los motores shunt.

### • Motores compound acumulativos.

En este tipo de motores (fig. 2.27), a medida que la carga aumenta, el flujo debido al campo serie aumenta, y entonces el par es mejor que aquel que resultaría para el devanado shunt sólo para un valor determinado de corriente.

El incremento en el flujo debido a la acción del devanado de campo en serie, toma en cuenta el efecto que el devanado de la carga produce, haciendo disminuir la velocidad más rápidamente que si el motor estuviera en conexión shunt.

Este motor desarrolla un par más alto con un incremento en la carga y también tiene un límite de velocidad de vacío, de manera que su velocidad no se excede cuando está en vacío. Los motores compound acumulativos se usan por lo general para el accionamiento de máquinas que están sujetas a la aplicación de cargas súbitamente, como por ejemplo, los molinos, perforadoras, etc.

Estos motores se usan también cuando se requiere un alto par de arranque, en los casos en que el motor serie no puede ser usado con ventajas, los motores en conexión compound, ofrecen también la ventaja de que absorben rápidamente la caída de velocidad cuando se aplican cargas súbitamente.

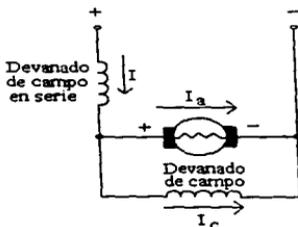


fig. 2.27 Motor de C.D. compound acumulativo ( largo )

El motor de C.D. compound acumulativo presenta en parte la propiedad de los motores serie, es decir, un considerable par de arranque y una considerable disminución de velocidad al aumentar la carga.

Y por otra parte, la característica del motor con conexión en derivación shunt, es la de tener una velocidad de vacío bien definida.

La característica mecánica del par contra la velocidad  $T = f(N)$  corresponde a la propiedad antes descrita y se muestra en el siguiente gráfica (fig. 2.28):

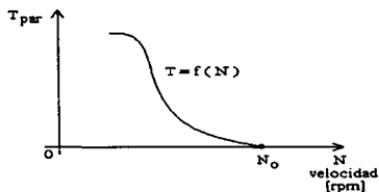


fig. 2.28 Característica par - velocidad de un motor compound - acumulado

• Motores compound diferenciales.

En el caso de este tipo de motores (fig. 2.29) el diagrama de conexión es el siguiente:

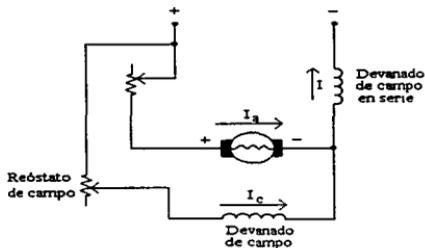


fig. 2.29 Motor de C.D. compound diferencial corto.

El motor de C.D. compound diferencial también conocido como "compound corto" corresponde exactamente al generador de C.D. compound corto, excepto porque ahora el sentido de la corriente de armadura resulta invertida y por lo tanto opuesta al sentido de la fuerza electromotriz del inducido E; se invierte también el sentido de los ampere-espira de excitación en serie, en tanto que permanece invariable el sentido de la corriente en el devanado de campo.

Al aumentar la carga, el flujo resultante  $\phi$  disminuye, lo que determina un aumento correspondiente en la velocidad, que está dada por la expresión general:

$$N = E_b / (K \phi) = V - [(R_a I_a + R_{se} I)] / (K \phi) \quad (2.39)$$

Donde:

$$K = P N / 60 a$$

En la expresión anterior se observa que al aumentar la corriente de carga I, disminuye por un lado el numerador por el aumento de la caída de voltaje y por otro lado disminuye  $K \phi$ , por efecto de la excitación en sentido opuesto debido al devanado de campo en serie.

Si se asigna a éste último el número adecuado de espiras, se puede obtener una compensación exacta entre las dos variaciones y obtener así un motor a velocidad casi constante a cualquier valor de carga.

La característica mecánica par-velocidad,  $T = f(N)$  tiene la forma de una recta casi normal al eje de las abscisas (fig. 2.30).

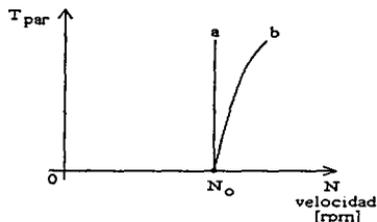


fig. 2.30 Curva par - velocidad para motor compound corto.

Se puede dar el caso de que aumentando la carga se presente un aumento en la velocidad, en cuyo caso al curva  $T = f( N )$  tiende a adoptar la forma b de la figura anterior.

Las características de los motores compound se resumen en la siguiente gráfica (fig. 2.31):

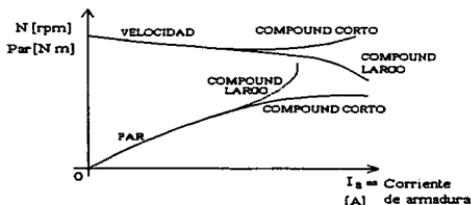


fig. 2.31 Características de los motores compound

## 2.9 Aplicaciones del motor de C.D.

La importancia de los motores eléctricos de C.D. se ha incrementado en los años recientes, a pesar de la aparente sustitución de algunas de sus aplicaciones por los motores de C.A..

Por ejemplo en la industria papelera o del acero en donde se tienen procesos que requieren un buen control de velocidad y par variable. En éste caso se habla de motores de C.D.

Algunas de las aplicaciones mas comunes de la C.D. se encuentran en la tracción y el transporte, casos típicos se encuentran en:

- Elevadores para transporte de personas o carga.
- Tranvías ( en aquellos lugares en donde aún se usan éstos vehículos como medio de transporte).
- Trolebuses y metro ( Transporte subterráneo ).
- Ferrocarriles eléctricos.

En la tracción eléctrica el uso de los motores de C.D. se mantiene en constante desarrollo, no sólo en los ferrocarriles eléctricos, también en los que usan locomotoras diesel eléctricas, en donde se tiene al menos un motor por eje, de manera que cada sección de una locomotora diesel eléctrica tiene al menos cuatro motores de tracción.

En los transportes subterráneos urbanos ( metro ) se tienen motores de C.D. y en algunos tipos de ferrocarriles eléctricos rápidos, y aún quedan en algunos países tranvías y trolebuses que hacen uso de motores eléctricos de tracción con fuentes de alimentación de corriente continua desarrolladas en distinta forma.

### **3.10 Motores de C.D. para elevador.**

Estos motores producen un excelente par y se puede obtener muy buena regulación de velocidad, son del tipo campo en derivación y se tienen interpolos. Se usan con un grupo motor-generador con o sin excitador.

Este tipo de motores es indispensable en elevadores de alta velocidad y donde se desea tener control excelente.

Los motores de elevador están generalmente diseñados para 50 °C, siendo la temperatura del ambiente 40 °C .

También están diseñados para soportar 120 arranques por hora.

El enfriamiento se hace por medio de un abanico en el rotor, pero éste no es tan efectivo como en otros casos, debido a que el motor del elevador no trabaja intermitentemente algunas horas como lo haría un motor normal.

En elevadores provistos con motor de dos velocidades donde el trabajo es muy intenso el ventilador del rotor es insuficiente y es necesario ventilarlos continuamente con un ventilador adicional movido por un pequeño motor.

El par normal del motor es afectado por su excesivo calentamiento. Si el calor desarrollado puede ser eliminado conforme se produce por medio de un ventilador, el motor trabajará mejor.

Si el devanado de baja velocidad es usado para nivelar y el motor se ha sobrecalentado sólo producirá unas  $\frac{3}{4}$  partes de par normal y la operación será deficiente.

Es conveniente que el abanico camine constantemente para que el motor nunca se caliente por eso se ha desechado el uso de termostatos que arrancan el ventilador cuando la temperatura es alta porque el motor estaría trabajando a distintas temperaturas. Y como consecuencia la nivelación se afectaría dejando de ser exacta.

## CAPÍTULO 3

### EL CONTROL DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE C.D.

#### 3.1 Definición de control.

En resumen se define como la ciencia de operar un motor de tal manera que satisfaga las necesidades requeridas de precisión y velocidad.

Los equipos industriales utilizan cada día más arrastres de velocidad variable. Ello es debido en parte a la necesidad de dar al dispositivo arrastrado, la velocidad óptima en cada una de las fases de un proceso.

Pero sobre todo es debido a los progresos realizados en la automatización que requiere la posibilidad de retroalimentar la velocidad de cada uno de los motores que actúan sobre diversos puntos de un mismo conjunto.

A su vez, la regulación de la velocidad en los motores de C.D. se define como el cambio en la velocidad cuando se reduce la carga en el motor del valor de plena carga a cero (condición de vacío). Se acostumbra expresar la regulación de velocidad como la diferencia anterior referida a la velocidad de plena carga:

$$R_{\text{reg-vel}} = (N_o - N_{pc}) / N_{pc} \times 100$$

Donde:  $N_o$  = Velocidad de vacío en [rpm]

$N_{pc}$  = Velocidad a plena carga en [rpm]

Los principales dispositivos que constituyen los equipos de regulación y control pueden dividirse según su función en :

#### a ) Dispositivos de entrada.

Entre los equipos de entrada se encuentran los equipos de consigna y los dispositivos de medida. Se utilizan en particular en los equipos de regulación analógicos.

### **b ) Dispositivos de tratamiento de señales o dispositivos de regulación.**

Por una parte tienen la función de regular y de comparar el valor real con el valor de consigna y por otra deben estabilizar el circuito de regulación.

### **c ) Dispositivos de salida o dispositivos de control.**

Algunas veces también les llaman dispositivos de regulación, tienen el papel de interrelacionar los reguladores con el sistema a regular.

Como dispositivos de salida su tarea esencial es la amplificación en potencia, de manera que las señales de pequeña potencia que salen de los reguladores, correspondientes a la tensión de control en la entrada de los dispositivos de control, puedan actuar sobre el sistema a regular.

Existen dos maneras de controlar la velocidad de los motores de C.D. :

I. Forma tradicional

II. Forma moderna

### **3.2 Forma de control tradicional.**

Las distintas formas de control de velocidad conocidas hasta ahora están basadas en la expresión general para el control de velocidad en motores de C.D., que se indica a continuación:

$$N = K ( V - I_a ( R + R_a ) ) / \phi \quad [\text{rpm}]$$

Donde:  $R$  = es una resistencia interna que se incluye en el circuito de la armadura; de la ecuación anterior.

La variación en la velocidad (  $N$  ) se puede obtener:

- 1 ) Variando el voltaje de alimentación  $V$ .
- 2 ) Haciendo variar la resistencia externa  $R$  del circuito de armadura.
- 3 ) Variando el flujo por polo  $\phi$  .

Los dos primeros se refieren a métodos de control que actúan sobre la armadura, en tanto que el tercero es un método de control que actúa sobre el devanado de campo; es por esto que los métodos de control se clasifican en métodos de control de armadura y métodos de control de campo.

Los métodos de **control de armadura**, se puede decir que son "proporcionales", ya que si el voltaje de alimentación a la armadura se reduce, entonces la velocidad también se reduce, mientras que en los métodos de **control de campo** se tiene una relación inversa, ya que cuando el flujo se reduce, la velocidad aumenta.

Cada uno de los métodos de control de velocidad está asociado normalmente a cada tipo de motor.

### **3.2.1 El control de velocidad en los motores de C.D. en conexión en derivación ( shunt ).**

El control de velocidad en los motores de C.D. en conexión shunt, se puede hacer accionando sobre el devanado de campo o sobre el de armadura.

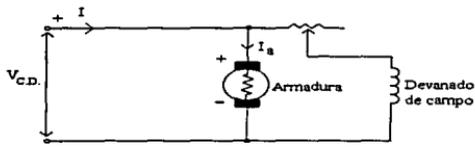
#### **a ) Métodos de control de campo.**

Básicamente existen tres métodos de control de campo en los motores de C.D. en conexión shunt.

##### **a.1 ) Control por reóstato de campo.**

Este método se basa en la variación del flujo por medio de la variación de la corriente de campo de un reóstato de campo conectado en serie con el devanado de campo. Este método es uno de los más fáciles y económicos de realizar.

Tiene la limitante de que con éste método, la corriente de campo solo se puede reducir y no aumentar, por lo que la variación se obtiene arriba de la velocidad nominal. La velocidad es mínima al máximo valor del flujo y viceversa, es máxima al mínimo valor del flujo.



**fig. 3.1 Control de velocidad con réostato de campo para motores de C.D.**

**a.2 ) Control de velocidad por la variación de la reluctancia.**

Este método requiere que el motor se construya con detalles mecánicos especiales que permitan variar la reluctancia del circuito magnético, lo que hace que éste sea un método caro, y dado que los resultados que se obtienen son prácticamente los mismos que por el método de control de campo por réostato, está prácticamente desechado éste método de control de la reluctancia.

**a.3 ) Control de voltaje de campo.**

El control de velocidad por éste método (fig. 3.1) requiere de una fuente de alimentación de voltaje variable para el devanado de campo, que se aísla o separa de la fuente de alimentación principal a la cual se conecta la armadura.

La fuente de alimentación de voltaje variable se puede obtener por medio de un rectificador electrónico que toma su alimentación de una red de corriente externa.

**b ) Métodos de control de velocidad por armadura.**

Para el control de velocidad de los motores en derivación ( shunt ) por medio del control de armadura, se requiere que el voltaje aplicado a las terminales de la armadura se pueda cambiar, sin modificar al corriente de campo, éste control se puede obtener por cualquiera de los métodos siguientes:

b.1 ) Por control de la resistencia de armadura.

Este método consiste en conectar una resistencia en serie con la armadura, ésta resistencia es variable (fig. 3.2), con lo cual se puede obtener un amplio rango de variación en la velocidad, siendo ésta variación directamente proporcional a la caída de voltaje a través de la armadura.

Para cargar con un par constante, la corriente de armadura debe permanecer sin variación, de manera que la potencia de entrada al motor sea la misma, pero la potencia de salida decrece en proporción a la velocidad.

Mediante éste método, se puede obtener un amplio rango de variación de la velocidad, y también el motor puede desarrollar cualquier par deseado.

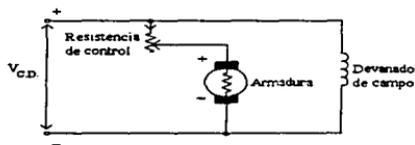


fig. 3.2 Control de velocidad por resistencia de armadura para motores de C.D. shunt.

La gráfica característica par-velocidad del motor shunt con control por resistencia en la armadura se muestra a continuación (fig. 3.3):



fig. 3.3 Característica par-velocidad de un motor shunt con control de armadura.

El control de velocidad por resistencia en la armadura se emplea normalmente donde las velocidades son menores que la nominal y por lo general para periodos de tiempo cortos y solo ocasionalmente en aplicaciones en donde el motor se ve sometido a arranques y paros sucesivos, también se emplea en casos como ventiladores y sopladores, en donde la carga cae rápidamente con la reducción de la velocidad.

#### b.2 ) Control con derivado en la armadura.

En el control de la velocidad por armadura (fig. 3.4), la velocidad cambia con cualquier cambio en la carga, debido a que en éste tipo de control la variación de la velocidad no depende sólo del cambio en la resistencia de control de armadura, también del cambio en la corriente de carga.

Para obtener un control más estable, se puede agregar al sistema de control un reóstato en paralelo o derivador con la armadura, además de la resistencia en serie con la armadura; de manera que los cambios en la corriente de armadura de este motor ( que dependen de los cambios en la corriente de carga ) no afectarán directamente el voltaje a través de la armadura y en consecuencia a la velocidad del motor.

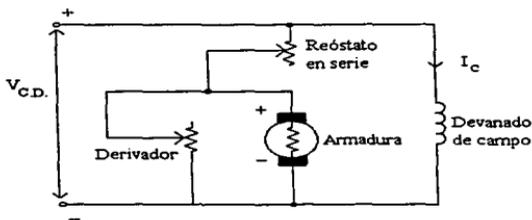


fig. 3.4 Control derivador en la armadura para motores de C.D shunt.

### **b.3 ) Control de voltaje en la armadura.**

Este método de control de la velocidad requiere de una fuente de corriente variable, que está separada de la fuente que alimenta la corriente de campo.

El método en sí es más eficiente que los descritos antes por control de armadura, y la razón es que elimina el problema de obtener una pobre regulación de velocidad y una pobre eficiencia, sin embargo tiene la desventaja de que su costo inicial es mayor , la fuente de voltaje variable puede ser un generador de C.D. o bien un rectificador de estado sólido, permite obtener un amplio rango de variación de velocidad con cualquier número de puntos de velocidad deseados.

Es necesario tener un sistema de par constante, debido a que la salida del motor decrece cualquier reducción en el voltaje aplicado y su correspondiente reducción en la velocidad.

Tiene además la ventaja de que se puede emplear en donde se requiera una excelente característica de arranque, como las requeridas en elevadores de alta velocidad. No obstante a sus ventajas no es muy usado debido a su alto costo inicial y equipo complementario que se requiere ( generador o rectificador estático para el control de voltaje).

El esquema básico de control de velocidad por ajuste del voltaje de armadura usando como complemento un generador de voltaje ajustable se conoce como el sistema Ward-Leonard, que consiste de un motor de corriente directa que trabaja en excitación constante y se aplica un voltaje variable a su armadura para obtener la velocidad requerida. La fuente de voltaje variable consta de un grupo motor-generador o conjunto convertidor.

### 3.2.2 El control de la velocidad de los motores de C.D. en serie.

El control de la velocidad de éste tipo de motores se obtiene en forma análoga al de los motores de C.D. en conexión shunt, ya sea por control de armadura o por control de campo (fig. 3.5). El método más usado es el de control por medio de resistencia de armadura.

Este se hace en forma semejante que el caso de los motores en conexión shunt, solo que en éste tipo de motores, la resistencia que va en serie con la armadura se puede conectar externamente al motor, es decir en el circuito de alimentación.

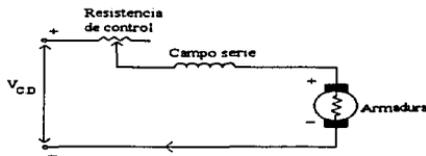


fig. 3.5 Control de motor de C.D. serie por resistencia de armadura.

La regulación de velocidad limitada que se obtiene con el control por resistencia de armadura y que es significativa en los motores en conexión shunt, pierde importancia en los motores serie (fig.3.6), dada las características de la curva par-velocidad en los motores serie, cuando se incorpora la resistencia en serie tiene un curso o caída más rápida.

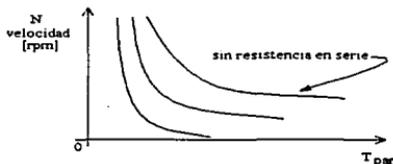
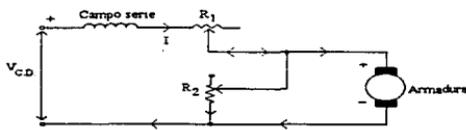


fig. 3.6 Característica per-velocidad para un motor de C.D. en serie con y sin resistencia de control en serie.

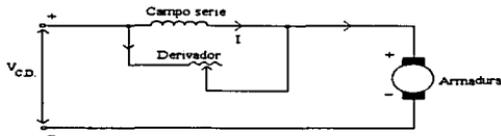
Una variante del control de la velocidad por resistencia de armadura, consiste en la inclusión de un reóstato en paralelo con la armadura (fig. 3.7) y otro reóstato en serie con la armadura para obtener velocidades bajas con cargas bajas. Con esta combinación de reóstato, las velocidades en condiciones de baja carga y de vacío se pueden ajustar a cualquier valor bajo deseado.



**fig.3.7 Control de velocidad para motores de C.D. en serie por medio de reóstato en paralelo con la armadura.**

La velocidad de los motores de C.D. en conexión serie que opera con una carga en particular, se puede incrementar básicamente en tres formas:

- a) El flujo del devanado de campo se puede reducir puentando una porción de la corriente del motor alrededor del devanado de campo en serie (fig. 3.8), por lo tanto, reduciendo la fuerza magnetomotriz de excitación y debilitando el flujo, éste método resulta fácil de aplicar y también económico, la velocidad se puede ajustar variando la resistencia del derivador de campo, ya que a menor resistencia del derivador se tiene menor corriente de campo, menos flujo y en consecuencia mas velocidad.



**fig.3.8 Método de control de velocidad por medio de derivador de campo.**

- b) Dado que para aumentar la velocidad se debe reducir el flujo, una de las formas de lograrlo es reduciendo la fuerza magnetomotriz, es decir las ampere-espira en el devanado del campo en serie, para esto se puede reducir el número de espiras en este devanado (fig.3.9), para lo cual se instalan taps o derivaciones en las espiras previamente determinadas, estas derivaciones se llevan al exterior de manera que el cambio se pueda hacer externamente sin ninguna dificultad.

Este método no resulta complicado y se usa en tracción eléctrica.

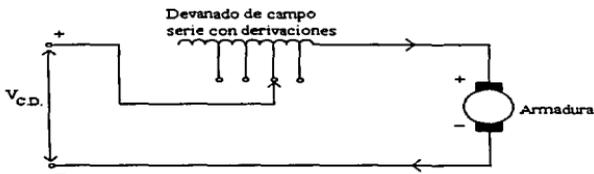


fig. 3.9 Control de velocidad por el devanado de campo con derivaciones

- c) Otro método de control de la velocidad, se puede obtener construyendo el devanado de campo serie en forma de bobinas seccionadas, es decir, varias bobinas en serie (fig. 3.10) constituyen el devanado de campo, las bobinas también se pueden agrupar en serie-paralelo (fig. 3.11).

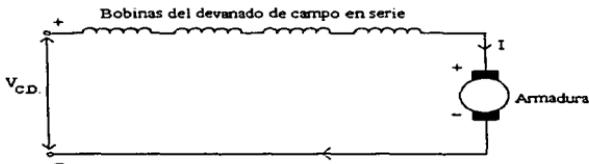
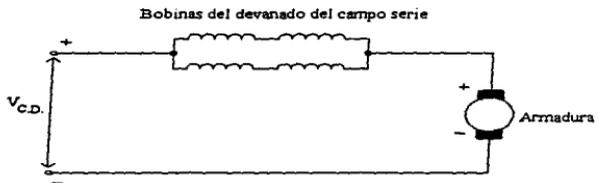


fig. 3.10 Control de velocidad por medio de grupos de bobinas en serie en el devanado en serie.



**fig.3.11 Control de velocidad por medio de grupos serie-paralelo en el devanado de campo serie.**

### 3.3 Forma de control moderna.

En la década de los 70's la nueva tecnología de los SCR's lograron un gran impacto en los elevadores. En vez de usar los SCR's para el control del campo del generador shunt, ahora es usado para controlar la corriente de la armadura directamente (fig.3.13), así de esta manera se elimina la necesidad de emplear un motor generador.

Esto ocurrió con la introducción de la tracción directa en los elevadores. En este tipo de tracción, un rectificador controlado de silicio (SCR) con suficiente potencia es usado para controlar la armadura del motor directamente.

Como con el motor generador, la velocidad es controlada basicamente por variación de voltaje en el motor del elevador.

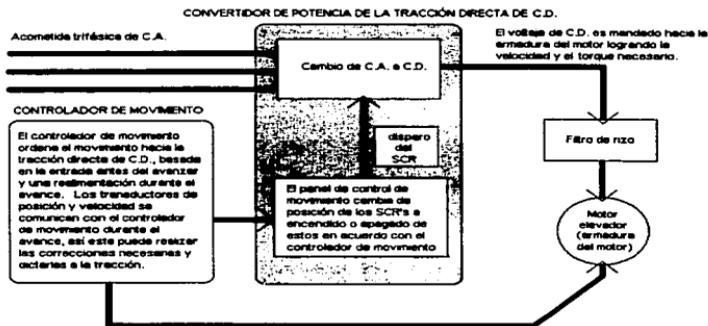


Fig. 3.13 Control moderno para un ascensor

## **CAPÍTULO 4**

### **ASCENSORES**

#### **4.1 Definición de ascensor.**

Es un sistema de transporte vertical, por medio del cual se logra el desplazamiento de personas, materiales, objetos y cosas pesadas, etc., de un nivel fijo a otro.

#### **4.2 Historia de los ascensores.**

La historia del transporte vertical de personas y materiales es muy antigua. Tan antigua como el hombre, es sin duda la necesidad de transportar las cosas hasta los lugares en donde él las deseaba; y su deseo se podía situar en infinidad de ocasiones en lugares altos, casi sin duda se puede afirmar que, precisamente, los lugares altos eran los de su predilección, y se hace esta aseveración fundándose en la forma de sus primitivas construcciones, posteriores a las cuevas, y que utilizaban para protegerse de las fieras; estas construcciones eran hechas en los centros de los ríos, encima de castilletes para evitar ser alcanzadas por las grandes avenidas, a la vivienda se entraba mediante un puente elevadizo formado por troncos de árboles; y de ésta forma las fieras tenían un difícilísimo acceso a la construcción, y el hombre en ella se sentía protegido.

Posteriormente, con el descubrimiento del fuego se fueron olvidando las construcciones comentadas anteriormente, a las cuales se les llamaba "palafitos".

Y aquí precisamente el hombre empezó a pensar en los medios de elevación para lograr el acceso a su casa o palafito, solucionando este obstáculo mediante la rampa formada con troncos de árboles; éste problema se les agudizó al pretender elevar edificios de grandes alturas, donde ya no era práctica la rampa elemental de los palafitos una vez construidas y mucho menos durante su construcción.

El mayor problema en la construcción de las pirámides de Egipto fue el poder elevar los enormes bloques de roca a los vértices de las mismas, utilizando de nuevo la rampa, pero en ésta ocasión utilizando tierra aprisionada alrededor de la construcción, y por ésta hacer el transporte con fuerza humana hasta la colocación de la piedra.

Así, el historiador Herodoto nos cuenta los grandes esfuerzos de aquél rudimentario sistema y la enorme cantidad de hombres y días que se necesitaron para ello.

Mucho después de estas construcciones podemos leer entre los escritos que la historia nos legó de los arquitectos romanos, la descripción de un torno accionado a mano que utilizaban para la elevación de materiales, éste torno está descrito por el arquitecto Vitrubio y al cual se cree, debemos su invención.

El artilugio, que se puede considerar abuelo de nuestros ascensores, consistía en una cabina de madera sujeta a una cuerda, en cuyo extremo se colocaba un pesado contrapeso.

Otro sistema de elevación empleado por los romanos en edificios de gran categoría, es el de pozos con piedras salientes, que sustituían a las actuales guías del montacargas, en su forma rudimentaria, estos pozos fueron hallados en las excavaciones realizadas en territorio romano, en las ruinas de aquellos lejanos siglos.

Mas tarde se generalizó en el mundo civilizado conocido, un nuevo modelo de aparato para la elevación de materiales, era éste modelo, la combinación del plano inclinado y el torno accionado a mano que había descrito Vitrubio, aunque ya mas perfeccionado, y con éste procedimiento considerado en aquellos tiempos como muy eficaz, llegamos hasta el siglo XVII, sin innovaciones ni invenciones importantes.

En el siglo XVII, el ingeniero Villayer presentó a la corte de París su "silla volante" (fig. 4.1), una especie de asiento que accionado por la fuerza muscular del pasajero, permitía subir con comodidad de un piso a otro.

Pero las primeras aplicaciones modernas de lo que hoy conocemos por ascensor surgen dos siglos después.



**fig. 4.1 Una forma muy antigua de transporte vertical**

Son las jaulas de metal movidas por un torno de vapor que se utilizaban en los pozos mineros.

Al mismo tiempo, el ingeniero, también francés, Edoux inventa y construye el montacargas hidráulico, utilizando por primera vez el agua como medio de elevación y prescindiendo así de la fuerza humana.

El montacargas hidráulico, inventado por Edoux lleva dos plataformas en dos pozos o cajas distintas; en la parte inferior de una de ellas dispuso un tanque de agua que al llenarlo, por su peso, hacía subir a la otra plataforma unida a ésta mediante poleas y cadenas, una vez la plataforma elevada llegaba a la altura prevista, se vaciaba el agua de la otra y la elevada volvía a descender al piso bajo.

Este sistema tenía sus limitaciones de uso y no era muy práctico, por lo que su mismo autor lo perfeccionó poco después.

A mediados del mismo siglo, Edoux perfeccionó su invento y hubo constantes intentos por parte de otros inventores para lograr el ascensor sin energía

hidráulica; también Edoux, fue el que bautizó su invento con el nombre de "ascensor" en su presentación.

Todas las tentativas hacia el ascensor que mejorara o eliminara el invento de Edoux fueron inútiles, hasta que aparecieron los nombres del alemán Siemens y del americano Otis.

Otis empleó el vapor de agua en su modelo de ascensor con singular acierto; y Siemens se hizo famoso con sus modelos.

En el año 1852, se le pide a Elisha Otis, que construya un montacargas.

Otis diseña un freno de emergencia (fig.4.2), el seguro automático de zapatas que aún hoy se incorpora en los elevadores. Gracias a este mecanismo, la cabina se libra de caer al vacío en caso de que los cables que la sujetan sufran algún desperfecto.

Otis inventa el primer ascensor seguro y ésta característica de su invento, no sólo da comienzo a la industria del ascensor, sino que también permite que los arquitectos puedan utilizar en forma adecuada el espacio existente en edificios mas altos que deseen construir.

Al igual que cualquier otro hombre de negocios, Otis, tiene que hacerle publicidad a su diseño y decide hacerlo de un modo poco común y dramático en la exposición celebrada en Nueva York en 1854.

Después de instalar un ascensor en el sector principal del salón de exhibiciones, Otis hace que la plataforma cargada con cajas, barriles y otras mercancías en las que también el viajero, se eleve a cierta altura. Luego ordena que se corte el cable.

Al suspender la tensión ejercida sobre el mecanismo de seguridad que está formado por una ballesta de carreta, ésta se estira y se traba en la cremallera, asegurando firmemente la plataforma de carga y suspendiendo así el movimiento de la misma.

Al principio, la compañía de E. G. Otis no tuvo gran demanda de ascensores.



**fig. 4.2 Demostración del primer ascensor con freno de emergencia diseñado por Otis.**

En 1854 no son muchos los que se venden, en 1855 sólo 15, pero para 1856 los registros de la compañía Otis muestran 27 elevadores vendidos. Todos se utilizaban para el transporte de carga.

El 23 de marzo de 1857, Otis instala el primer ascensor del mundo para pasajeros, en la tienda de E. V. Haughwout y Compañía, un edificio en Nueva York, que tiene cinco pisos y que se consideraba bastante alto para aquella época.

La potencia para mover éste ascensor se obtiene a través de un sistema de ejes y correas que se mueven desde una fuente central de vapor instalada en el edificio.

El sistema puede levantar hasta 450 [kg] a razón de 0.20 [m/s]. Por fin se comienza a explotar el principal mercado para los ascensores.

En 1888 fue construido por Werner Siemens el primer elevador eléctrico, éste llevaba un motor de C.D. abajo del carro y por medio de un mecanismo especial quedaba fijo a unas correderas por las que podía subir y bajar.

En diciembre de 1889, se instalan con mucho éxito, los primeros ascensores eléctricos; se hizo una instalación de dos de éstos, en un edificio en Nueva York.

La instalación original, consistía en un motor de C.D. con su campo en derivación, acoplado por medio de banda, a una polea, que a su vez, movía por medio de dos bandas a un reductor o máquina. El arranque, parada y cambio de dirección de viaje del elevador se obtenía por medio de un cable, que accionaba la banda cambiándola de la polea loca a la de acción de la máquina y viceversa.

Automáticamente se aplicaba un freno mecánico con el cable al parar el elevador.

En éste tipo de elevador era necesario encender el motor y dejarlo llegar a su velocidad normal, antes de poner en servicio el elevador y tenía el gran inconveniente, de que el motor caminaba constantemente independientemente del trabajo del elevador.

Después de éste, se hicieron varios intentos para mejorar el funcionamiento, pero sin resultados satisfactorios.

El siguiente paso, fue acoplar directamente el motor a la caja de engranes eliminando las bandas.

Pronto se llegó a la conclusión de que un motor con campo en derivación no producía suficiente par para arrancar a plena carga, a menos que se usara un motor sumamente grande.

El arranque se mejoró usando un motor con dos campos, uno serie, y otro en derivación, pero con éste tipo de motor compuesto se obtenía una velocidad muy variable dependiendo de la carga se tuviera y como consecuencia las paradas resultaban muy inexactas.

La solución a éste problema fue construir un control especial que cortara el campo en serie una vez que el elevador alcanzaba su velocidad normal dejando solo el campo en derivación, con esto se obtenía una velocidad uniforme lográndose paradas bastante precisas.

En 1903, se hizo un adelanto considerable usando la máquina sin engranes (Gearles) con relación de cables 1:1 o 2:1.

Estas máquinas consisten de un motor de corriente directa tipo derivación de muy bajas revoluciones acoplado a poleas montadas en la flecha de la armadura.

Los cables en vez de enrollarse sobre un tambor van sobre la polea tractora o de tracción.

Junto con el ascensor eléctrico, se introduce un sistema de control que permite el movimiento uniforme del mismo, el sistema consiste en controlar la velocidad del motor y es llamado sistema Ward-Leonard, así como también controla la tensión de salida de un generador eléctrico que alimenta al motor del mecanismo.

Estos avances, son el fundamento para la evolución del elevador que hoy en día conocemos, que aún retoma de varios aspectos de diseño de sus inicios.

El ascensor en nuestros días es una combinación de lo mejor de todos los procedimientos conocidos y con la aplicación de la electrónica, perfeccionando el ya inventado ascensor eléctrico, se llega al ascensor electrónico.

Pasaron algunos años antes de que los motores de C.A. pudieran ser usados en elevadores.

Los motores usados en los elevadores deben estar diseñados para arrancar a plena carga y alcanzar en un tiempo no mayor de 4 a 6 [s] su velocidad normal. Una vez que han alcanzado su velocidad normal la deben mantener hasta que el circuito sea cortado para parar.

Estos motores utilizados pueden ser de C.D. o de C.A..

### **4.3 Tipos de ascensores.**

En esencia, el ascensor es una cabina estructuralmente rígida que al desplazarse se guía por varios rieles metálicos alojados dentro del tiro del ascensor.

En forma general podemos decir que hay dos tipos principales de elevadores: por **tracción e hidráulicos**.

#### **a) Elevadores hidráulicos.**

Estos transmiten el movimiento ascendente o descendente a las cabinas a través de un pistón que se telescopia dentro de un tubo en el cual se inyecta o extrae aceite a presión.

Debido al mecanismo empleado en éste tipo de elevadores (fig. 4.3), su uso está limitado a edificios de poca altura, en los cuales además no se requiere un servicio rápido, pues las velocidades comunes en éstos equipos varían entre 0.04 y 0.05 [m/s].

La ausencia de un cuarto de máquinas en el extremo superior del cubo del elevador y el que no requiera contrapeso, son en muchos casos, los factores que influyen en la selección de ésta clase de equipo.

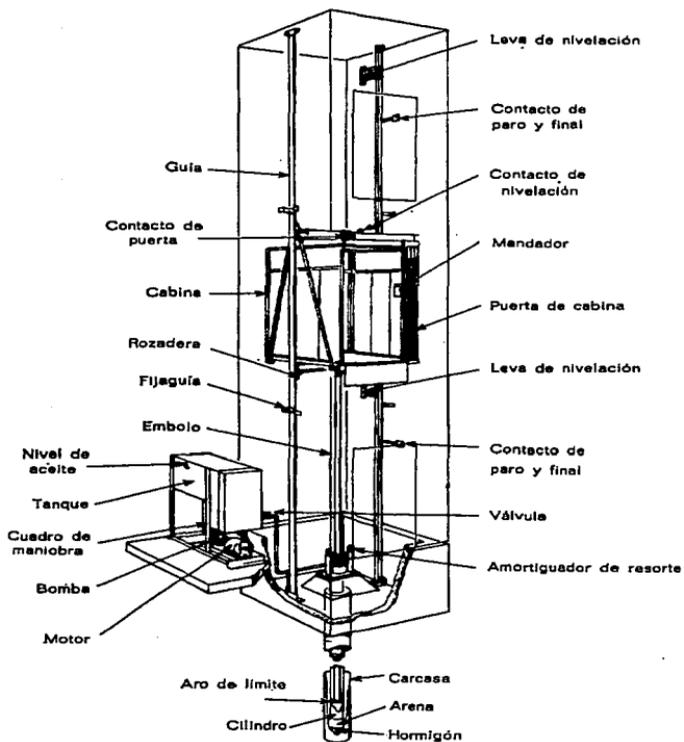


fig. 4.3 Instalación típica de un montacargas hidráulico.

## b) Elevadores por tracción.

Estos pueden tener el cuarto de máquinas en la parte superior o inferior del cubo de elevadores, según se muestra en la siguiente figura (fig. 4.4):

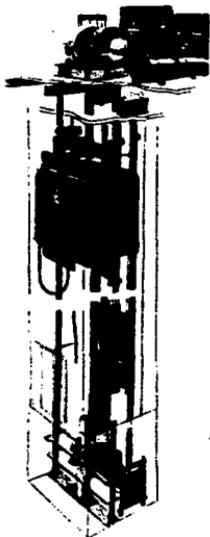


fig. 4.4 Ascensor de tracción directa.

Este sistema, con el cuarto de máquinas en la parte superior (fig. 4.5), es el más común en la práctica, dado que puede servir a edificios de gran altura y alcanzar velocidades que varían entre 0.65 y 5.00 [m/s].

### **c) Elevadores de tipo exprés.**

Este tipo de elevadores no es tan común, son ascensores que dan servicio desde la planta baja, recorren sin detenerse en subida o bajada en los pisos inferiores del edificio y sólo dan servicio normal en sentido ascendente o descendente en los pisos superiores determinados con anterioridad. Esta solución brinda economía y eficacia en edificios con más de 25 pisos, cuya demanda máxima en 5 minutos de transporte vertical en la sección más pequeña del edificio excede de 75 personas.

Los motores empleados en los equipos de ascensores pueden ser de corriente alterna o directa, lo cual depende principalmente de la velocidad que se requiere.

Para velocidades bajas (de 0.65 a 1.00 [m/s]) se pueden utilizar indistintamente motores de corriente alterna o directa, pero por motivos económicos y prácticos, en la mayoría de las instalaciones de este tipo se usan motores de corriente alterna. Para velocidades mas altas que 1 [m/s] y hasta 6 [m/s], se deben usar motores de corriente directa.

### **4.4 Principales elementos de un equipo de ascensores.**

En cualquier equipo de ascensores con mecanismo por tracción, los principales elementos son:

La cabina, los cables, el equipo motriz, el equipo de programación y maniobra, el contrapeso, las guías, el tiro del ascensor, el cuarto de máquinas y el foso.

**Las cabinas:** Por su presentación en los aspectos decorativos y funcionales, son la única parte del sistema con la cual el usuario común tiene contacto, tienen una importancia fundamental.

Esencialmente es una caja de material ligero sostenida por una estructura resistente, en cuyo extremo superior se fijan los cables que sostienen su peso.

Por medio de unas ruedas montadas en los laterales de la cabina, se guía su trayecto vertical sobre los rieles del ascensor.

En la actualidad, las cabinas están provistas de puertas automáticas, un panel con botones de maniobra, un indicador del piso en el que hace parada, así como iluminación, ventilación y equipo de intercomunicación con la conserjería del edificio.

Los acabados de la cabina se deben proyectar para una larga vida, poco gasto de conservación y que a su vez se integren al concepto decorativo del edificio.

Las dimensiones, proporción y disposición de la cabina pueden variar, sin embargo en el mercado existen tres tipos de cabina: para pasajeros, de tipo hospital y para carga.

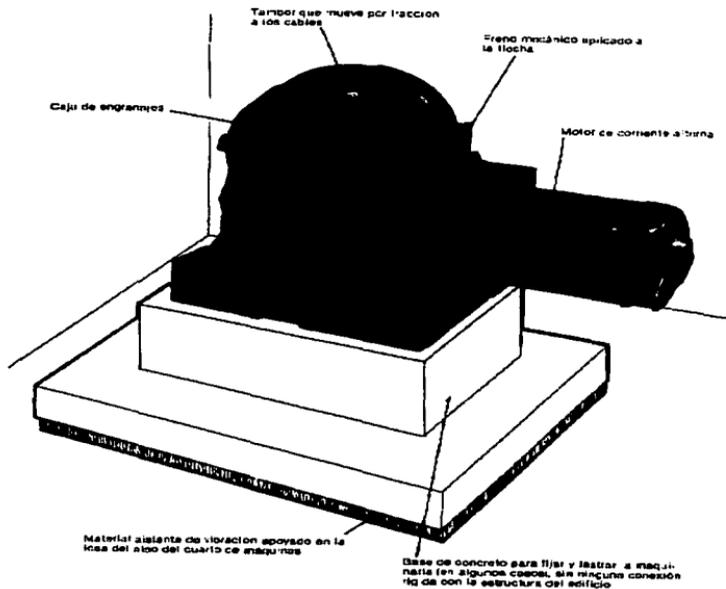
**El conjunto de cables:** Transmite el movimiento ascendente a la cabina. Por lo general se fijan a la parte superior de tres a ocho cables paralelos, entre los cuales se distribuye uniformemente el peso de la cabina.

En el cuarto de máquinas los cables se pasan sobre el motor cilíndrico del mecanismo tractor y vuelven a descender hasta fijarse al contrapeso.

Cuando se requiere el cambio de los cables, es una de las partidas más caras en el costo de mantenimiento de un ascensor.

Al imprimir movimiento al tambor, el mecanismo elevador hace ascender o descender la cabina.

Este mecanismo consiste en una robusta estructura metálica en la cual se integran el tambor, el motor y la caja de engranes (si la hay), los frenos y los otros elementos auxiliares, así como el regulador de velocidad, el cual evita que ésta llegue a ser peligrosa.



**fig. 4.5 Mecanismo y montaje típico de un elevador de pequeñas dimensiones. Motor de corriente alterna con engrane.**

**El equipo de maniobra:** Es la combinación de pulsadores, contactos, relés, levas y dispositivos que funcionan manual o automáticamente para maniobrar las puertas, el arranque, aceleración, desaceleración, ajuste de nivel y detención de la cabina.

**Interruptores eléctricos:** Evitan que la cabina sobrepase los extremos del recorrido, mientras que tableros iluminados indican la posición de la cabina y el sentido en que se desplaza; además mediante cuadros pulsadores en la cabina y en los pisos del edificio se transmiten las ordenes al equipo de ascensores.

Todos éstos elementos están combinados entre sí, de tal manera que los elementos principales funcionan con el máximo de seguridad, comodidad y conveniencia.

**El contrapeso:** Está constituido por bloques rectangulares de fundición, apilados en un armazón suspendido del extremo opuesto de los cables en relación con el extremo en que está colgada la cabina.

El tamaño del contrapeso se relaciona con el peso de la cabina y su carga, en la proporción que venga para reducir al mínimo el consumo de energía en la operación del equipo, que tiene sus puntos críticos en los periodos de aceleración.

El contrapeso corre a lo largo de una guía en la parte posterior o lateral del tiro del elevador, en sentido inverso al de la cabina correspondiente.

**El tiro del ascensor:** Es el paso vertical por el que circulan la cabina y el contrapeso (fig. 4.6).

Sobre sus paredes están montadas las guías, los bastidores de las puertas y algunos de los elementos mecánicos y eléctricos de los aparatos de mando.

En el fondo del hueco del ascensor están varios amortiguadores que absorben el impacto de la cabina en caso de estar desajustado el nivel en la última parada del extremo inferior.

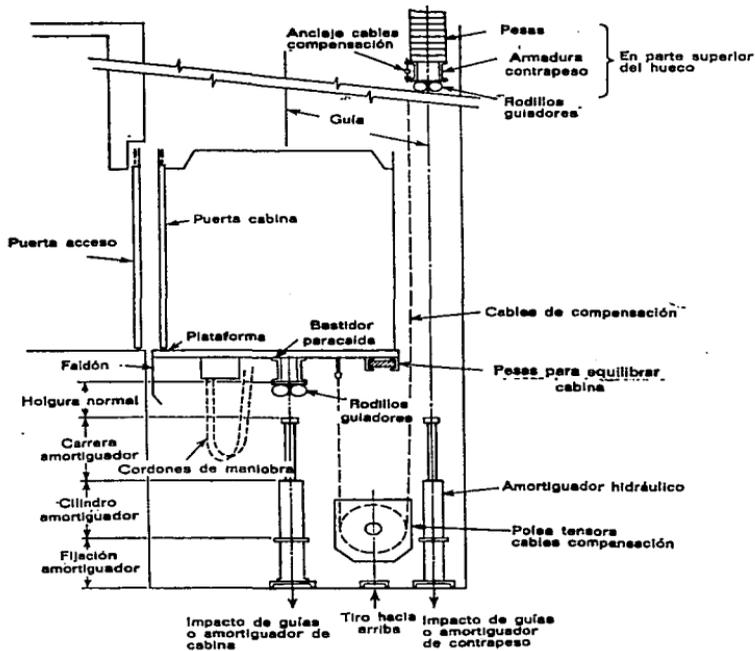


fig. 4.6 Disposición de foso y techo.

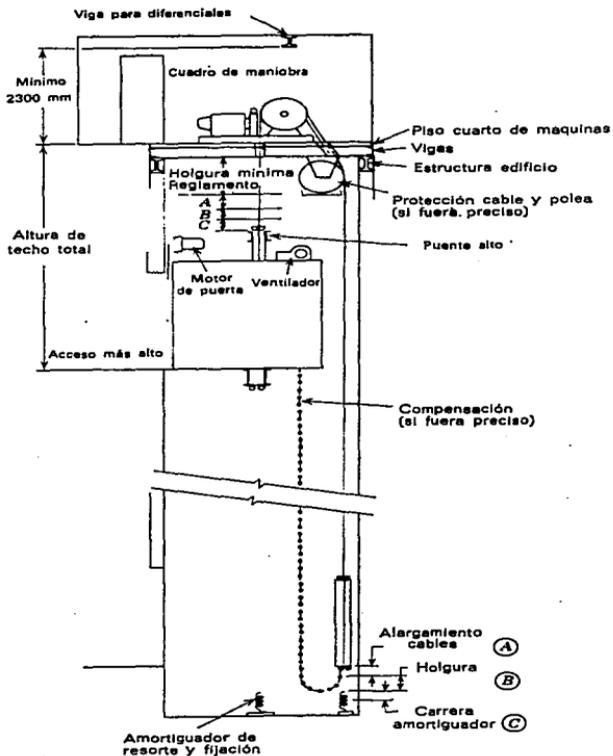


fig.4.6(Continuación)

**Las guías:** Son un perfil T de vertical (fig. 4.7) y conducen la cabina y el contrapeso en su desplazamiento dentro del tiro.

Es de suma importancia la alineación y ensamble de las guías para asegurar el paso suave y silencioso de las correderas de la cabina, las cuales están montadas en los flancos de la estructura de aquella.

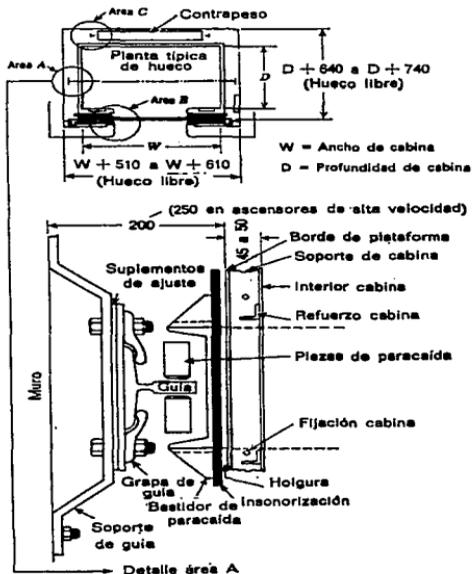


fig. 4.7 Requisitos de espacio alrededor de la cabina.

Las guías del contrapeso son similares a las de la cabina, pero generalmente de menor dimensión.

Todas las guías se deben fijar con pernos a traves, cadenas o dados de concreto ubicados a una distancia máxima en altura de 1.50 m.

**El cuarto de máquinas:** Es el local ubicado inmediatamente encima del tiro del ascensor (fig. 4.8) , donde se aloja la fuente de fuerza motriz o el mecanismo elevador, el cuadro de distribución y otros aparatos de control.

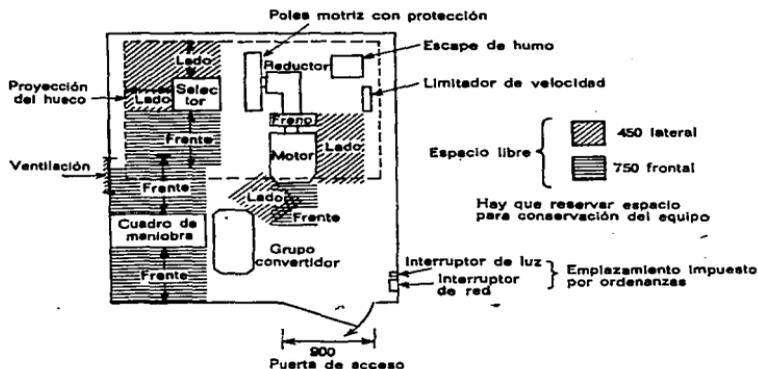


fig.4.8 Cuarto de máquinas.

En este punto es importante acentuar la necesidad de aislar de la estructura del edificio las partes móviles de la maquinaria y el equipo de control a fin de evitar problemas de ruidos y vibración en el edificio terminado.

Asimismo, al definir la velocidad de viaje del elevador, se determina el tipo de motor, de mecanismo, de transmisión y de sistema de regulación apropiado en cada caso.

Los motores empleados en los equipos de ascensores pueden ser de corriente alterna o directa, lo cual depende principalmente de la velocidad que se requiere.

Para velocidades bajas (de 0.65 a 1.00 [m/s]) se pueden utilizar indistintamente motores de corriente alterna o directa, pero por motivos económicos y prácticos, en la mayoría de las instalaciones de éste tipo se usan motores de corriente alterna.

Para velocidades mas altas que 1 [m/s] y hasta 6 [m/s] se deben usar motores de corriente directa.

En los sistemas de transmisión se tienen básicamente dos tipos: el de tornillo sinfín y el de acoplamiento directo.

**En el sistema de tornillo sinfín** (fig. 4.9), el movimiento del motor se transmite al tambor mediante una cremallera y una corona, por lo tanto, los motores pueden funcionar a velocidades mas altas (de 600 a 1800 r.p.m.), de forma que son más económicas su adquisición y operación.

La principal limitación de éste sistema es la velocidad, pues no es práctico usarlo con velocidades mayores que 2.5 [m/s]. Para velocidades altas (de 2.5 a 6 [m/s]), el equipo adecuado es el de acoplamiento directo, en el cual el eje del motor, siempre de corriente directa, está conectado directamente con el tambor. La ausencia de engranajes significa que el motor gira a la misma velocidad que el tambor.

Como no es práctico construir motores de corriente directa para trabajar velocidades reducidas, esta clase de mecanismo se emplea sólo en equipos de ascensores en los cuales se requieren velocidades altas.

**El mecanismo de acoplamiento directo** (fig. 4.10) es superior al de tornillo sinfín, pues al tener menos elementos móviles es más eficaz, más silencioso y por tanto, tiene un número de piezas menor que requieren mantenimiento.

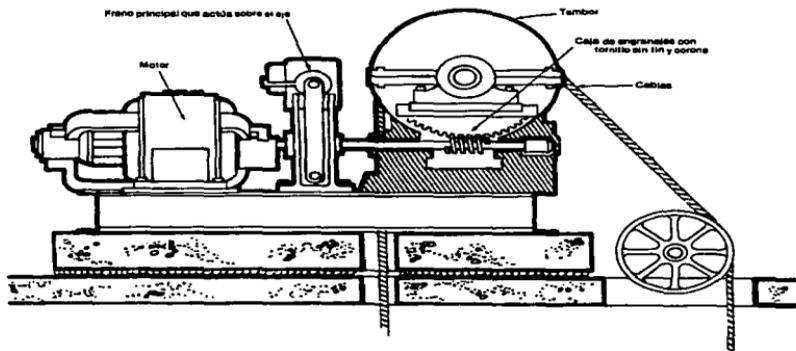


fig. 4.9 Mecanismo típico de un elevador de tracción con engranaje.

Para la regulación de velocidad de los motores existen básicamente dos sistemas:

*El reostático y el de voltaje variable.*

Para suministrar corriente eléctrica con **voltaje variable** al motor de un ascensor, se necesita un grupo motor generador (fig. 4.11), que a partir de la corriente alterna de uso en el edificio genere corriente directa con voltaje variable para la aceleración, velocidad de paso y desaceleración del motor de corriente directa del mecanismo elevador.

Este sistema brinda el funcionamiento óptimo en conjunción con el equipo de acoplamiento directo, con suaves y rápidas aceleraciones, desaceleraciones y altas velocidades de paso (2.5 a 6 [m/s]).

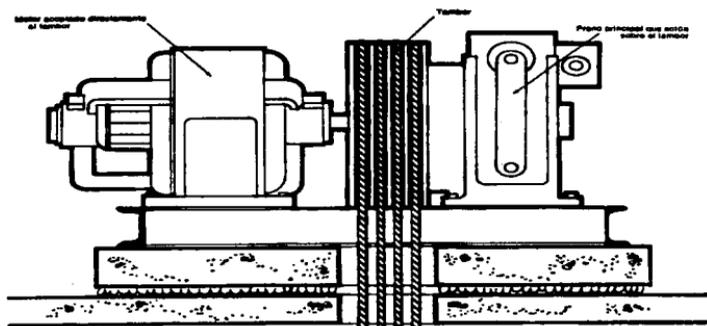


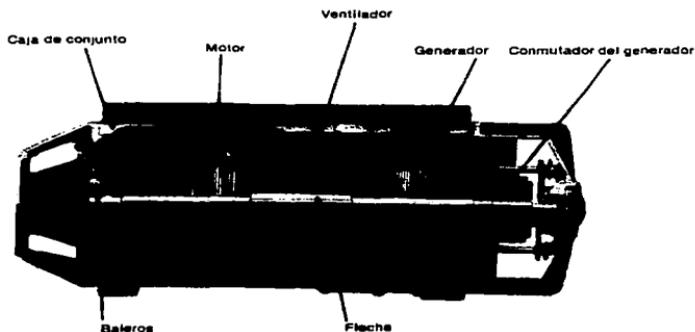
fig. 4.10 Mecanismo típico de un elevador de tracción con acoplamiento directo.

En las instalaciones en las que no se pueden permitir el lujo del mando por tensión variable o en las que se utilicen velocidades menores de 2.5 [m/s], las máquinas de tracción de los elevadores pueden ser accionadas por motores de corriente alterna o directa, con la velocidad **regulada por reóstatos** (resistencias variables), aquí existen pérdidas por efecto Joule, por tal motivo se requiere de una mejor capacidad en el control de la velocidad.

En nuestro medio, el sistema de regulación por reóstato se utiliza sólo en motores de corriente alterna que funcionan en equipos elevadores con velocidades menores de 1 [m/s], pues en la generalidad de los casos en los que se tienen motores de corriente directa se requiere un grupo motor-generador especialmente para elevador.

Esto hace mas costoso el uso de sistema de voltaje variable.

Un aspecto de suma importancia que no se había mencionado es el referido a los dispositivos de seguridad que todo equipo de ascensores debe tener.



**fig. 4.11 Equipo de motor-generator de uso en elevadores de corriente directa y voltaje variable.**

### **Dispositivos de seguridad de un ascensor.**

Los equipos de seguridad en un ascensor básicamente son:

*El freno principal.*

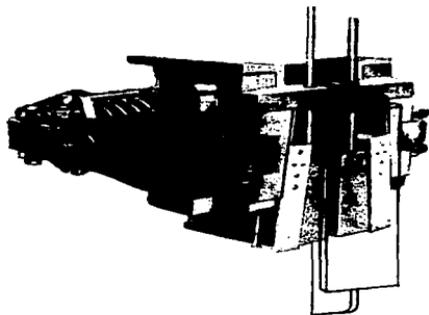
*El freno de emergencia.*

*Los amortiguadores que se alojan en el foso.*

*Los interruptores del límite de recorrido.*

**El freno principal** de un ascensor actúa directamente sobre el eje del mecanismo elevador.

Acciona con unas zapatas comprimidas por medio de unos muelles contra el tambor del freno. El freno libera el mecanismo por la acción de un electroimán y al limitarse o eliminarse el voltaje que lo energiza, los resortes que comprimen las zapatas frenan automáticamente el mecanismo.



**fig. 4.12 Freno de seguridad típico en equipos de elevadores con mecanismos de tracción.**

Cuando se emplean motores de corriente directa, el ascensor se desacelera por la acción del freno dinámico del motor y el freno de zapata actúa luego, de manera que sujeta el tambor y mantiene la cabina en el piso en que está detenida.

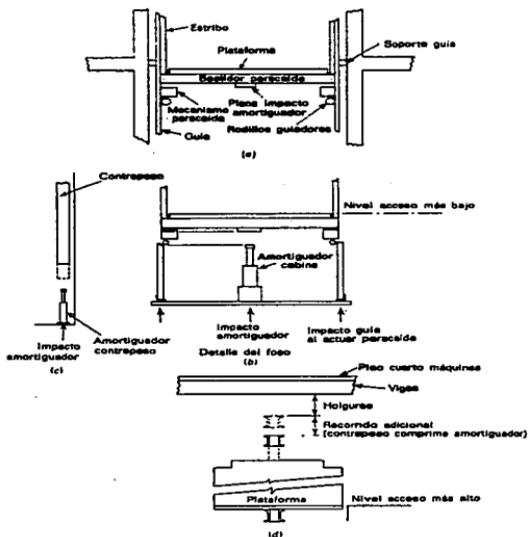
**El freno de seguridad** sirve para detener automáticamente antes de que adquiera velocidad excesiva (fig. 4.12). Este mecanismo está accionado por un dispositivo de pesos centrífugos que funcionan independientemente del resto de la maquinaria del ascensor.

A velocidades normales, dicho dispositivo no efectúa ninguna acción; cuando la velocidad sobrepasa el límite fijado; corta la corriente del motor y pone en acción el freno.

Generalmente, este detiene la cabina, pero si la velocidad aumenta, actuará sobre dos frenos de cuña, colocados debajo de la cabina, uno a cada lado, que funcionan sobre las guías y las comprimen para detener suavemente la cabina.

**Los elementos amortiguadores** (ya sean de resortes o del tipo hidráulico) se instalan en el foso del tiro del elevador (fig. 4.13), tienen como objeto no detener la cabina si ésta cae, sino amortiguar su detención cuando se sobrepasa el límite de su recorrido.

A poca distancia por encima y por debajo de los extremos del recorrido del elevador se colocan unos interruptores eléctricos que cortan la corriente del sistema, y por tanto, ponen en acción el freno principal cuando la cabina sobrepasa dichos extremos.



**fig. 4.13** Requisitos de espacio vertical.

#### 4.5 Sistemas de comando.

El sistema que programa el funcionamiento del elevador o grupo de elevadores en un edificio es de gran importancia, pues de éste depende que los tiempos de recorrido se cumplan eficazmente; que no se traslapen las cabinas al acudir a las llamadas y por lo tanto, se brinde un servicio eficaz y económico.

Dicho equipo de programación o comando se debe especificar con base en los requerimientos de transporte del edificio y el número de cabinas que tendrá el sistema.

Al respecto se puede hacer la clasificación siguiente:

<i>Número de cabinas en el equipo.</i>	<i>Equipo de comando.</i>
Equipo de ascensores con una sola cabina	Simple. Selectivo. Selectivo en descenso. Selectivo completo.
Equipo de ascensores con dos a cuatro cabinas	Selectivo en descenso. Selectivo completo. Tránsito programado.
Equipos de ascensores con cinco a ocho cabinas	Tránsito programado.

A continuación se explicarán con un poco de más detalle las características de tales sistemas de comando:

**Simple:** Es el equipo de comando básico para un ascensor. Se debe usar sólo en elevadores para pasajeros con un recorrido máximo de dos pisos, así como un equipo de montacargas, sin importar en cuantos niveles sirva éste equipo.

Este sistema atiende una sola llamada, sin acumular las siguientes, y tienen prioridad las llamadas que se marcan en el tablero de cabina sobre los botones de piso.

Así sólo se atenderá una llamada de piso, sin diferenciar su dirección, cuando ésta se solicite y la cabina esté libre.

**Colectivo:** Este sistema se puede utilizar en edificios de oficinas o habitacionales con una sola cabina y recorridos de hasta cinco niveles.

Acumula las llamadas tanto de piso como de tablero de cabina, y las atiende en cuanto el ascensor alcanza los pisos, sin diferenciar la dirección de ellas.

**Selectivo en descenso:** Se puede usar con equipos de ascensores de una a cinco cabinas. Atiende las llamadas que se marcan en el tablero de cabina en cuanto alcanza los pisos, acumula las llamadas de pisos y sólo atiende éstas en sentido descendente.

**Selectivo completo:** Se aplica en equipos de ascensores que tengan desde una hasta cinco cabinas. Las llamadas que se registran en el tablero de cabina son atendidas conforme ésta alcanza los pisos.

Acumula las llamadas que se marcan desde botones de piso y las atiende según la dirección del viaje, ya sea ascendente o descendente.

Si no hay llamadas la cabina se estacionará en el último piso atendido, o en el que se elija como estacionamiento preferencial.

**Tránsito programado:** En edificios que requieren transporte vertical, con equipos de hasta ocho cabinas, o en edificios con variaciones muy intensas en sus necesidades de tránsito (como bancos, oficinas de una sola empresa u oficinas de tipo gubernamental) se requiere un computador en el sistema que supervise, analice el número y dirección de las llamadas y programe las cabinas, de modo que dé prioridad de atención a llamadas según la posición de cada carro.

#### **4.6 Elementos de construcción y diseño.**

La rentabilidad de un edificio depende en gran parte de la eficacia de su equipo de transporte vertical, el cual debe brindar un servicio adecuado en capacidad y rapidez a la categoría que se desea imprimir al inmueble.

Las condiciones mínimas de transporte son establecidas por los reglamentos de construcción en vigor en cada ciudad.

Así, se especifican desde la altura máxima permisible de un edificio sin equipo de transporte vertical, hasta las capacidades de transporte y los intervalos para cada tipo de edificio.

En el reglamento de la ciudad de México se permite que un edificio tenga planta baja y hasta tres pisos de altura, sin que sea necesario instalarle equipo mecánico de transporte vertical sin incluir habitaciones de servicio, ni cuartos de máquinas, ni azoteas.

A partir de esa altura, cualquier edificio deberá estar dotado con algún medio mecánico para transportar verticalmente a las personas.

En edificios con más de 10 niveles se requiere instalar por lo menos dos elevadores, y para otorgar la licencia de construcción se pide un estudio de tráfico, avalado por una compañía de elevadores que garantice un servicio adecuado.

En general, los ascensores y las escaleras mecánicas son los medios más comunes para el transporte vertical de personas.

Su elección está supeditada a la altura del edificio, al volumen del tránsito de personas y a la rapidez requerida para llevarlo a cabo.

Para edificios con pocos pisos en los que la afluencia de personas sea en grandes cantidades (5000 a 10000 personas/hora) y el servicio no requiera gran rapidez, como tiendas departamentales, estaciones de transporte colectivo, auditorios, etc., la solución debe basarse en escaleras mecánicas; en cambio, en edificios de gran altura, en los cuales se requiere rapidez en el servicio y la afluencia es de

un máximo de 5400 personas/hora, la solución debe ser un sistema de elevadores.

Básicamente, el equipo de elevadores para un edificio se determina a partir de sus dimensiones y destino de éste, para lo cual se consideran una serie de valores estadísticos obtenidos en el estudio de tránsito de pasajeros en edificios similares.

Obviamente los valores escogidos para cálculo son aquellos que representan los periodos de tránsito extremo en un día de actividad normal.

En la siguiente gráfica (fig. 4.14), muestra un caso típico de tránsito de pasajeros en un edificio para oficinas; como se observa, las necesidades varían ampliamente en el transcurso del día, de modo que el equipo debe cumplir con los requerimientos de transporte en los momentos críticos.

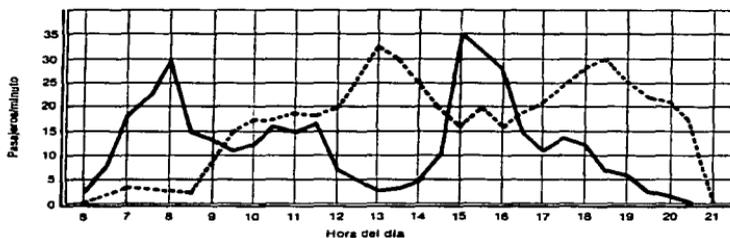


fig. 4.14 Gráfica con el flujo de pasajeros típico en el equipo de transporte vertical de un edificio.

De la relación de éstos requerimientos con las áreas rentables se han establecido una serie de índices que permiten conocer de forma rápida y práctica la capacidad de transporte necesaria en cada edificio, la cual se especifica en un lapso de 5 minutos, se normalizó internacionalmente.

El primer paso por seguir en el estudio de tránsito en un edificio es determinar la población del edificio, la cual se puede estimar a partir de índices determinados.

La figura (fig. 4.15) muestra los índices para la estimación de población de tipos de edificios comunes en la práctica; asimismo, contiene, como un porcentaje de la población total, la demanda máxima probable de transporte vertical y los intervalos de espera recomendados en cada caso. Como se observa, los requerimientos varían de acuerdo con el uso del edificio, su ubicación, y la rentabilidad que se desea lograr de aquél.

<i>Tipo de edificios</i>	<i>Índice para calcular la población</i>	<i>Demanda recomendable (transporte en 5 minutos (Porcentaje de la población total))</i>	<i>Intervalo de espera</i>
1. Edificios de oficinas diversas, tipo despachos, consultorios, etc., en área céntrica de alta rentabilidad	Una persona/10m <sup>2</sup>	13%	De 25 a 35 seg
2. Edificio similar al anterior, ubicado en un suburbio, o de tipo económico	Una persona/10m <sup>2</sup>	12%	De 30 a 45 seg
3. Edificio para oficinas perteneciente a una sola compañía	Una persona/9m <sup>2</sup>	15%	De 25 a 30 seg
4. Edificio de una dependencia gubernamental	Una persona/7m <sup>2</sup>	20%	De 30 a 45 seg
5. Edificios de departamentos con alta rentabilidad	1.5 personas/recámara	7%	De 45 a 60 seg
6. Edificios de departamentos con rentabilidad media	Dos personas/recámara	6%	De 60 a 80 seg
7. Hospital de tipo privado*	Dos personas/cama	12%	De 45 a 60 seg
8. Hospital de tipo estatal*	Dos personas/cama	10%	De 45 a 60 seg
9. Hotel con alta rentabilidad en área cosmopolita	1.3 personas/cuarto	12%	De 35 a 50 seg
10. Hotel con alta rentabilidad en lugar de veraneo	1.75 personas/cuarto	12%	De 35 a 50 seg
11. Hotel con baja rentabilidad en área cosmopolita	1.7 personas/cuarto	10%	De 50 a 70 seg
12. Hotel con baja rentabilidad en lugar de veraneo	Dos personas/cuarto	10%	De 50 a 70 seg
13. Estacionamientos de autoservicio	1.75 personas/auto	12%	De 45 a 60 seg
14. Estacionamiento de autoservicio de una gran tienda departamental	Dos personas/auto	12%	De 45 a 60 seg

\*En edificios para hospital en los que se requieran varios elevadores para el transporte vertical, uno o varios de ellos deberán tener la posibilidad de transporte de camas y vehículo de servicio. Este tipo de elevadores se dimensionará en la proporción siguiente:

- Hospitales con menos de 250 camas: una cabina tipo hospital.
- Hospitales con 250 a 500 camas: dos cabinas tipo hospital.
- Hospitales con 500 a 700 camas: tres cabinas tipo hospital.
- Hospitales con 800 a 1 000 camas: cuatro cabinas tipo hospital.

**fig. 4.15 Índices para calcular la población de los edificios y requerimientos que debe satisfacer el equipo de transporte vertical.**

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE ASCENSORES PARA UN PROBLEMA REAL

#### 5.1 Definición del problema.

Selección del sistema idóneo de ascensores para edificios altos congruente a la aplicación específica de que se trate, pudiendo ser ésta del tipo residencial, comercial

#### 5.2 Bases para dotar de ascensores a un edificio.

El equipo de ascensores de un edificio debe cumplir con una serie de requisitos para brindar un servicio adecuado a la categoría del inmueble de que se trate.

Por lo tanto, en su especificación se deben considerar las dimensiones del edificio, el uso de las áreas construidas y la rentabilidad que se espera de él.

A partir de éstas condiciones de programa se puede, mediante datos establecidos estadísticamente, determinar la demanda posible que deberá satisfacer el equipo mecánico de transporte vertical.

Asimismo, mediante un porcentaje de la población total, específico en cada caso, se determina la demanda máxima de transporte vertical en un lapso de cinco minutos.

La satisfacción de la demanda máxima de transporte por el equipo de elevadores garantiza que éste podrá manejar con solvencia las necesidades de transporte en cualquier otra situación.

Así la relación siguiente se debe cumplir:

$$D_{m\acute{a}x} = C_5 + 0.03(D_{m\acute{a}x}) \quad \text{[número de pasajeros]} \quad (1)$$

Donde:

$D_{\text{máx}}$  : Demanda máxima probable de transporte vertical en cinco minutos ( número de pasajeros).

$C_5$  : Capacidad de transporte en cinco minutos del equipo de ascensores propuesto ( número de pasajeros).

La capacidad de transporte de un equipo de ascensores se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$C_5 = (K/T_{\text{rec}}) \times CE \times N \text{ [número de pasajeros] } (2)$$

Donde:

$K = 300$  [s].

$T_{\text{rec}}$  : Tiempo de recorrido de un elevador en segundos. ( ver definición más adelante).

$CE$  : Capacidad efectiva de la cabina tipo (80% del número máximo de pasajeros en la cabina, ver la figura 5.1).

$N$  : Número de cabinas empleadas en el sistema.

**El tiempo de recorrido** de un elevador es la suma de los tiempos acumulados en el viaje de una cabina el cual se calcula a partir del tiempo que requieren las personas en abordarla en la planta baja a cupo efectivo (CE), llevar a cabo las paradas probables que dependen del cupo de la cabina y el número de pisos del edificio, el tiempo para ascender y descender los pasajeros en cada parada, el tiempo de aceleración y desaceleración en cada detención de la cabina, y el tiempo ocupado en recorrer a velocidad normal el elevador de la planta baja al último piso y viceversa.

Capacidad de carga (kilogramos)	Cupo máximo de la cabina (personas)	Capacidad efectiva de la cabina CE* (personas)
700 kg (1 500 libras)	10 personas	8 personas
907 kg (2 000 libras)	13 "	10 "
1 134 kg (2 500 libras)	16 "	13 "
1 360 kg (3 000 libras)	20 "	15 "
1 587 kg (3 500 libras)	23 "	18 "
1 814 kg (4 000 libras)	27 "	21 "

\*CE: es la capacidad de transporte promedio (personas) que se debe considerar para una cabina en los lapsos de demanda máxima.

**fig.5.1 Capacidad para transportar cabinas de ascensores de tamaño común.**

Como el tiempo de recorrido depende de múltiples variables: capacidad de la cabina, número de pisos del edificio, velocidad de operación etc., su cálculo es un tanto elaborado.

Por ello, para hacer más rápidos y simples los cálculos de los equipos de ascensores, se tienen una serie de gráficas (C, D, E, F, G, H) en el apéndice incluido, en las cuales se indican los tiempos de recorrido de las cabinas más comunes en la práctica.

Otro aspecto del servicio brindado por un equipo de elevadores es el intervalo de espera, que consiste en el tiempo que las personas deben esperar en la planta baja hasta que una cabina llegue y esté disponible para abordarla.

**El intervalo de espera** se determina aritméticamente por medio de la ecuación siguiente:

$$I = T_{rec}/N \quad [s] \quad (3)$$

Donde:

**I** : Intervalo de espera [s].

**T<sub>rec</sub>** : Tiempo de recorrido de un elevador [s].

**N** : Número de cabinas empleadas en el sistema de elevadores.

Con las ecuaciones 1, 2 y 3, se pueden establecer, de forma aproximada, el equipo o equipos de ascensores aplicables en cada caso; pero tener tres variables hace más lenta la de terminación del equipo óptimo.

Para analizar dos de las variables en la ecuación (2), se aplica la ecuación (3), de tal modo que se despeja  $N$  y se sustituye (2), para resultar la ecuación siguiente:

$$C = (300/I) \times CE \quad \text{[pasajeros/s]} \quad (4)$$

En la cual se tiene como incógnita la capacidad de las cabinas por emplear en el sistema.

En la gráfica A, se muestran los resultados que se obtendrían en la ecuación (4) a partir de un intervalo de espera y una capacidad de transporte, que son datos del problema en la práctica.

Hasta este punto, en la mayoría de los casos se pueden tener dos o más sistemas que llenen los requerimientos del problema y se debe elegir uno de ellos con base en el costo.

En general, se puede decir, que el costo de un sistema de ascensores, depende de tres factores:

- a) *El número de cabinas que tenga el sistema.*
- b) *La velocidad del equipo motriz.*
- c) *La capacidad de las cabinas empleadas.*

De acuerdo con la experiencia, se ha establecido un índice de costo, con el cual se puede evaluar comparativamente los equipos de ascensores, que aritméticamente se expresa de la forma siguiente:

$$I_c = N \times V \times CE \quad (5)$$

Donde:

$I_c$ : Índice de costo.

$N$ : Número de cabinas (de igual capacidad) empleadas en el sistema.

$V$ : Velocidad del equipo [m/s].

$CE$  : Capacidad efectiva de la cabina tipo (80% del número máximo de pasajeros en la cabina, ver la figura 5.1).

### 5.3 Cálculo de la capacidad de transporte de un equipo de ascensores.

La elección de un equipo de transporte vertical se proyecta a un edificio para oficinas en una área con alta rentabilidad; se ha determinado tanto el área rentable (**600 m<sup>2</sup> por planta**) como el número de pisos (**25**) que tendrá el inmueble.

Como primer punto, se consultó la figura 4.15 (pág.94), la cual muestra los índices para calcular la población del edificio, la demanda máxima de transporte en 5 minutos y el intervalo de espera.

Obteniéndose la siguiente información:

- 1) Índice para calcular la población: **una persona/10 m<sup>2</sup>**
- 2) Demanda recomendable de transporte en 5 minutos: **13% de la población total**
- 3) Intervalo de espera = **25 a 35 [s]**.
- 4) Población total:  
  
Población total = área rentable total / índice de población  
  
Población total =  $(600 \cdot 25) / 10 = 1500$  [personas]
- 5) Demanda máxima en 5 minutos = porcentaje de la población total.  
  
Demanda máxima en 5 minutos =  $13\% (1500) = 195$  [personas]

#### **5.4 Resultados.**

Con la demanda máxima de transporte vertical en 5 minutos y el intervalo de espera óptimo para este tipo de edificios, en la gráfica A (ver apéndice) se selecciona la capacidad de las cabinas, que dan la solución más adecuada.

En este caso se tienen dos posibilidades:

*a) Cabinas de 1814 [kg].*

*b) Cabinas de 1587 [kg].*

***a) Cabinas de 1814 [kg].***

El paso siguiente en la solución del problema será determinar la velocidad apropiada para este tipo de ascensores, para lo cual se usará la gráfica B (ver apéndice), que muestra para un edificio de 25 pisos una velocidad de 3 [m/s].

Para determinar el número de cabinas, con igual capacidad que tendrá este sistema, se recurre a las gráficas C, D, E, F, G y H, las cuales son específicas para cada cabina e indican tiempos de recorrido, número de cabinas, intervalo real y capacidad de transportación exacta del equipo en cuestión.

Así, en la gráfica H (ver apéndice), para cabinas de 1814 [kg] (CE 21 personas) con una velocidad de 3 [m/s], se puede leer el tiempo de recorrido, el número de cabinas para tener un intervalo de espera que fluctúe entre 25 y 35 [s], y la capacidad exacta de transporte por el número de cabinas utilizado.

Para llevar a cabo lo anterior, se unen con una regla los puntos que indiquen 25 pisos en las escalas de altura, con una velocidad de 3 [m/s].

En la escala extremo inferior se lee un tiempo de recorrido de 190 [s]. Sobre esa línea el intervalo de espera determinado (de 25 a 35 [s] en este caso) indica que se requieren 6 cabinas, se tendrá un intervalo de espera real de 32 [s] (escala de la extrema izquierda) y se transportarán 200 pasajeros en 5 minutos (escala de la extrema derecha).

**Se utilizan seis cabinas, se tendrá un intervalo real de 32 [s] y se transportarán 200 pasajeros en 5 minutos.**

*b) Cabinas de 1587 [kg].*

Respecto de la opción siguiente, en cabinas de 1587 [kg] ( CE 18 personas ) se obtienen de la gráfica G (ver apéndice), los datos siguientes:

Con una velocidad de 3 [m/s] se requieren 6 cabinas, las cuales tendrán un intervalo de espera 37 [s] y transportarán 168 pasajeros en 5 minutos.

Esta última opción se cancela, pues la capacidad de transporte es insuficiente a la necesaria, siendo menor al 13.85% de la demanda máxima probable.

La elección se realiza entre dos equipos de los cuales uno cumple con los requerimientos de transporte del edificio indicado. En éste caso, el equipo más idóneo es:

**a) Número de cabinas necesarias: Seis cabinas de 1814 [kg] (CE 18 personas).**

**b) Capacidad efectiva de la cabina: 18 personas**

**c) Velocidad del equipo: 3 [m/s].**

**d) tiempo de recorrido: 190 [s].**

**e) Intervalo de espera: 32 [s].**

**f) Capacidad de transporte máxima en 5 minutos: 200 personas**

### **5.5 Conclusiones.**

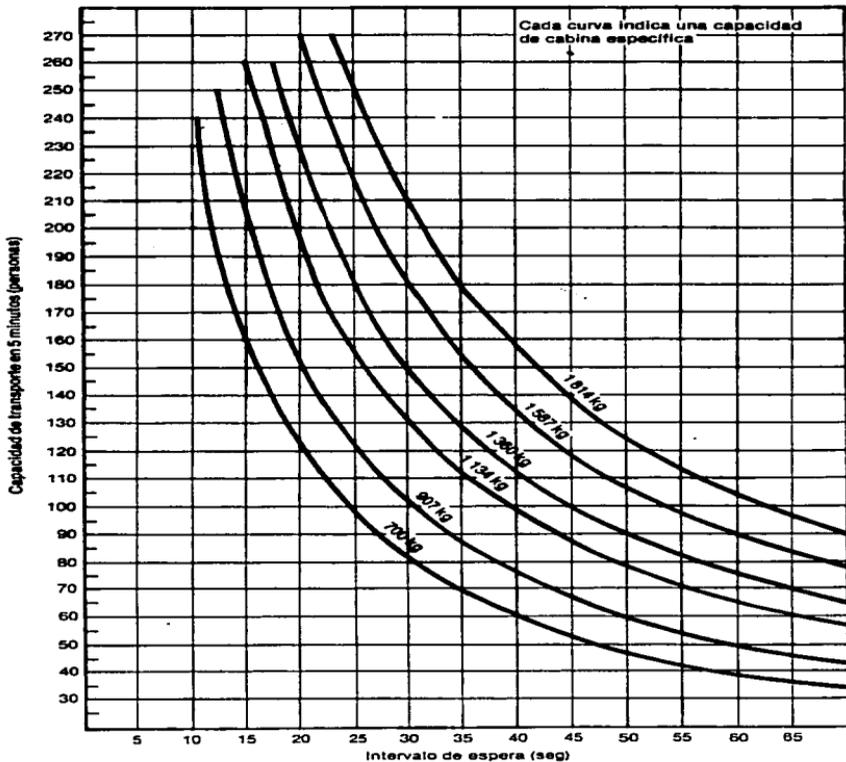
Se dispone del documento que contiene la información necesaria y actualizada, para cubrir la necesidad de consulta de la información especializada y parámetros referenciales para la correcta selección de equipos de ascensores para edificios altos.

Se considera que se dispone del documento necesario en el desarrollo de proyectos en el área de construcción de edificios e instalaciones, con las características de consulta práctica, funcional y estructurada.

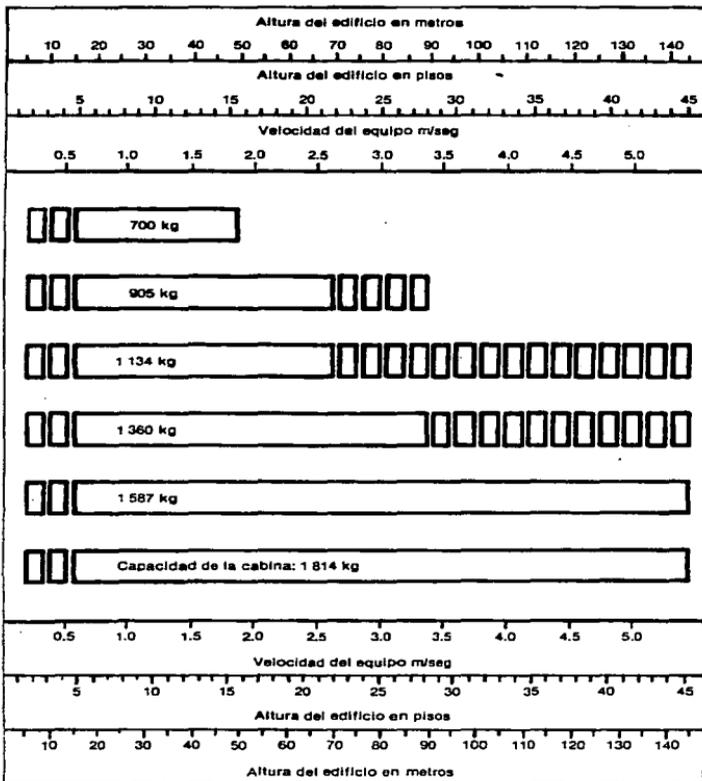
En cuanto a su aplicación se considera que es un documento versátil, con la ventaja de contener un alto grado de confiabilidad en su uso y aplicación.

# APÉNDICE

Gráfica A. Curvas de capacidad de transporte de equipos de elevadores automáticos, según el intervalo de espera y la cabina tipo.

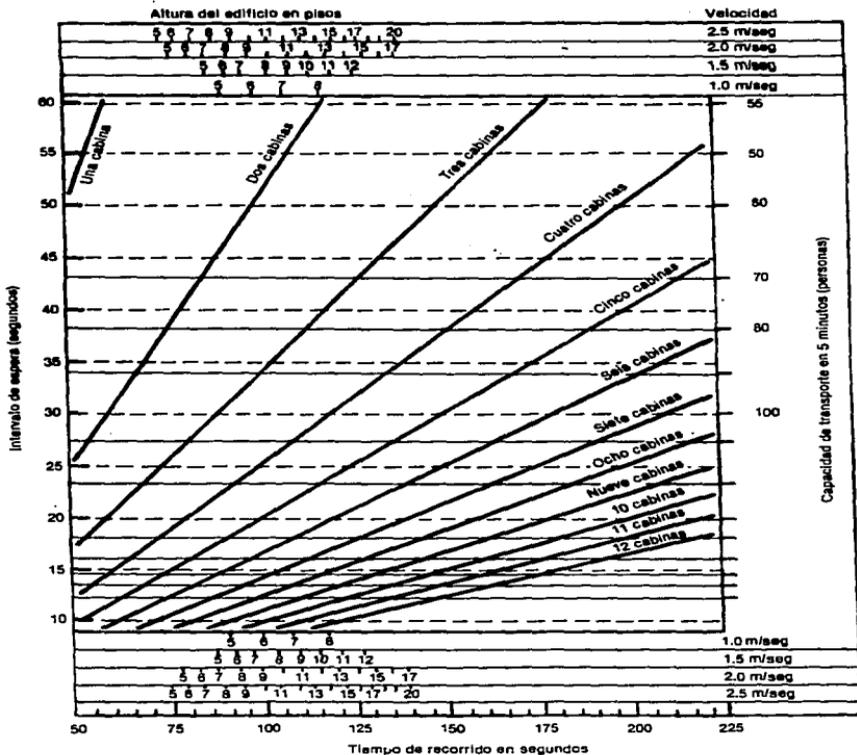


Gráfica B. Velocidad y capacidad de cabina recomendada según la altura del edificio.

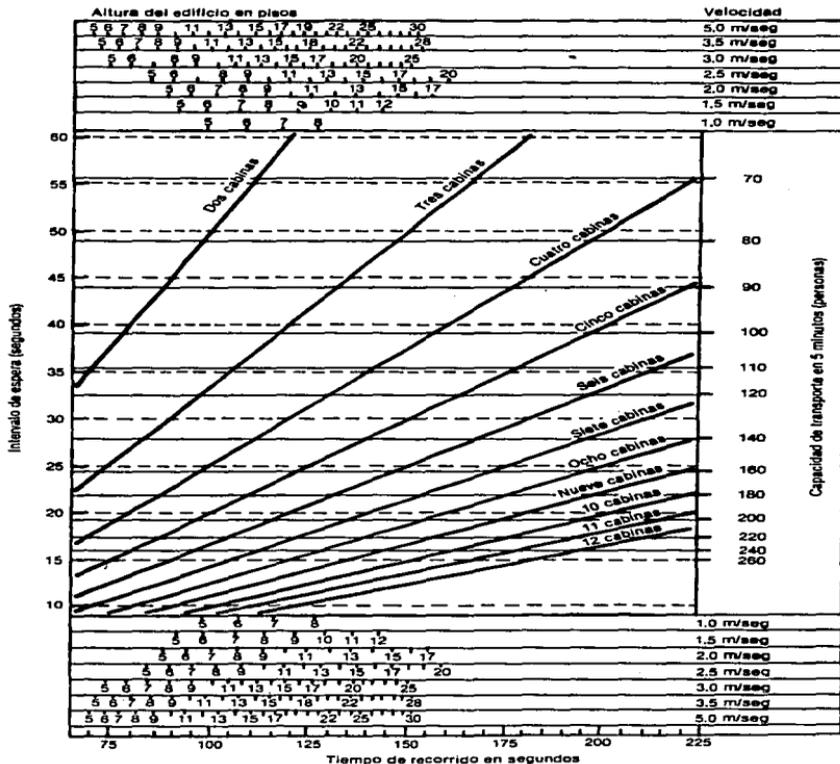




**Gráfica D. Capacidad de transporte, tiempo de recorrido y número de cabinas. Cabina para 907 kg (CE diez personas).**

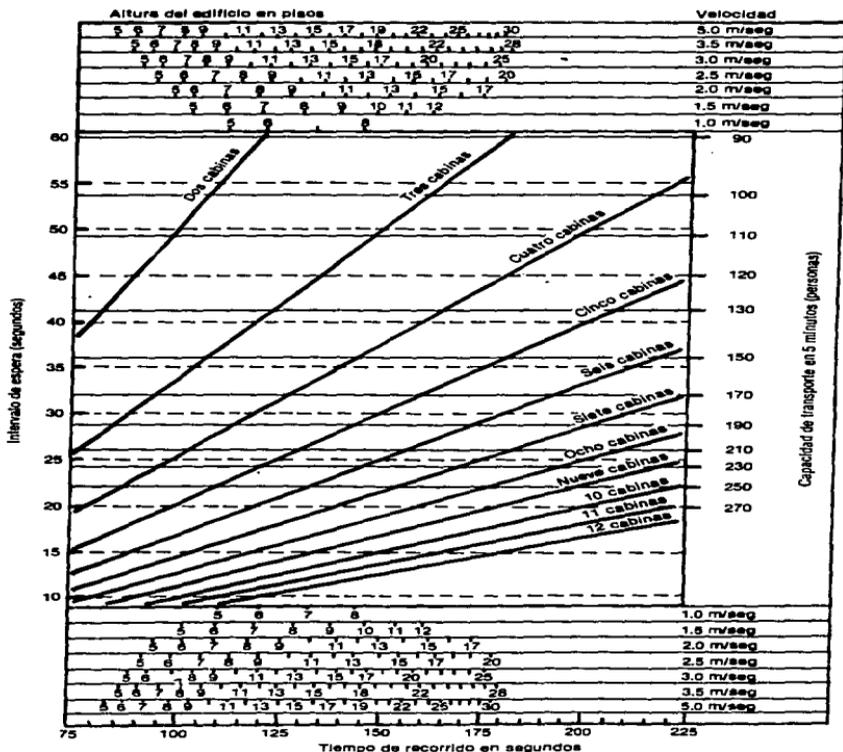


Gráfica E. Capacidad de transporte, tiempo de recorrido y número de cabinas. Cabina para 1 134 kg (CE tres personas).

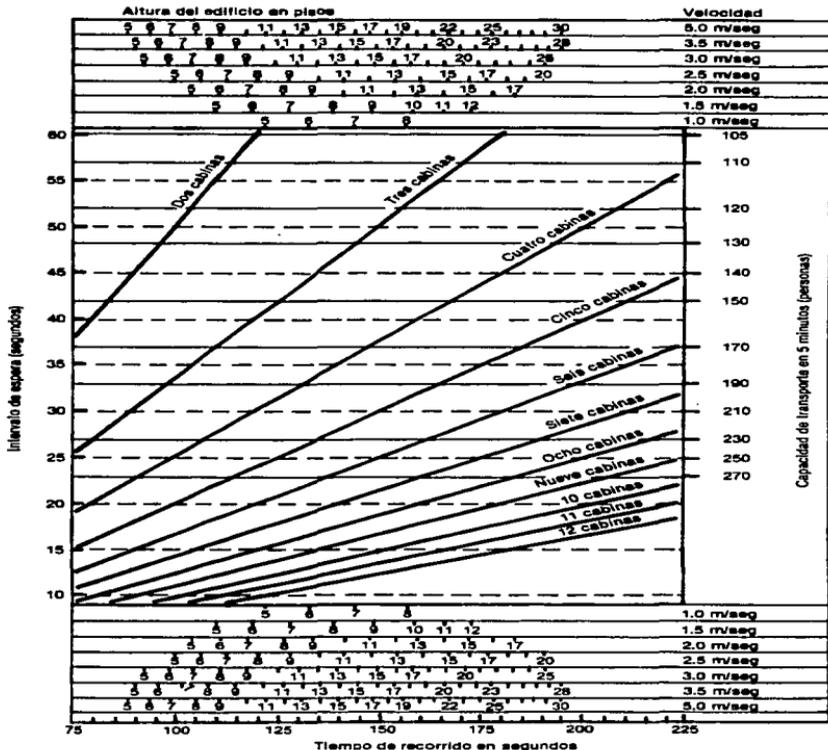




**Gráfico G. Capacidad de transporte, tiempo de recorrido y número de cabinas. Cabina para 1 587 kg (CE dieciocho personas).**



**Gráfica N. Capacidad de transporte, tiempo de recorrido y número de cabinas. Cabina para 1 814 kg (CE volarán personas).**



Capacidad de transporte en 5 minutos (personas)

# BIBLIOGRAFÍA

- ENCICLOPEDIA DE LAS CIENCIAS*, Editorial Cumbre, 6ª edición, México 1983, volumen 4.
- Mataix Claudio: *Turbo máquinas térmicas*, Editorial Dossat, 2ª edición, España, 1988.
- Mataix Claudio: *Mecánica de fluidos y máquinas*, Editorial Harla, 2ª edición, México 1982.
- Miguel Reyes Aguirre: *Curso de máquinas hidráulicas*, Facultad de Ingeniería U.N.A.M. Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A., México 1965.
- Comisión Federal de Electricidad: *Energía Eoloeléctrica*, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Unidad de Nuevas Fuentes de Energía.
- E.W. Golding: *The generation of electricity by wind power*, Spon Electrical Engineering series, London 1955.
- A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley Jr., Stephen D. Umans: *Máquinas Eléctricas*, Editorial Mc.Graw Hill, México 1992.
- Gilberto Enriquez Harper: *Curso de máquinas de corriente continua*, Editorial Limusa , 1ª reimpresión, México 1991.
- Luca M. Carlos: *Máquinas eléctricas 1ª parte*, Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A., 7ª edición, México 1976.
- I. L. Kosow: *Máquinas eléctricas y transformadores*, Editorial Reverte, España 1980.
- Thaler J.George, *Máquinas eléctricas*, Editorial Limusa, México 1974.
- Mileaf Harry, *Electricidad*, Editorial Limusa, México 1980.